Postverlagsort Leipzig

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD BERLINER

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON HANS SPEMANN IN FREIBURG I. BR.

ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

UND

ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

HEFT 17 (SEITE 285—300) 27. APRIL 1928 16. JAHRGANG

INHALT:

Verformen, Zerreißen und Verfestigung von Krystallen. Von M. Polanyi, Berlin-Dahlem. (Mit 11 Figuren) 285

Die Bedeutung der Akustik für die Technik. Von E. Waetzmann, Breslau 295

Zuschriften:

Über das Vorkommen und den Umsatz von Pyrophosphat im Muskel. Von K. Lohmann, Berlin-Dahlem 298

Zur Begrenzung des Systems der Elemente. Von W. Kossel, Kiel 298

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten: Untergang und Wiedererstehen antiker Kulturdenkmäler. United States Coast and Geodetic Survey 299

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen wöchentlich und können im In- und Auslande durch jede Sortimentsbuchhandlung, jede Postanstalt oder den unterzeichneten Verlag bezogen werden. Preis vierteljährlich für das In- und Ausland RM 9.—. Hierzu tritt bei direkter Zustellung durch den Verlag das Porto bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Einzelheft RM 1.— zuzüglich Porto.

Manuskripte, Bücher usw. an

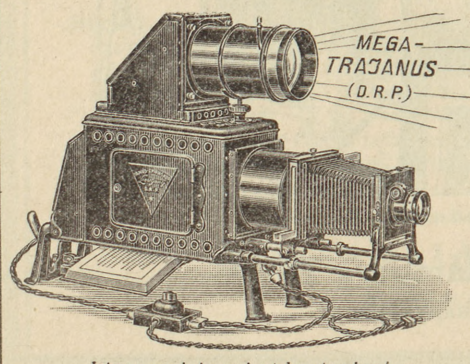
Die Naturwissenschaften, Berlin W 9, Linkstr. 23/24, erbeten.

Preis der Inland-Anzeigen: 1/1 Seite RM 150.—; Millimeter-Zeile RM 0.35. Für Vorzugsseiten besondere Vereinbarung. — Bei Wiederholungen Nachlaß.

Auslands-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Klischee-Rücksendungen erfolgen zu Lasten des Inserenten.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53 und 6326—28
sowie Amt Nollendorf 755—57



DIE NATURWISSENSCHAFTEN

16. Jahrgang | 27. April 1928 | Heft 17

Verformen, Zerreißen und Verfestigung von Krystallen[1].

Von M. POLANYI, Berlin-Dahlem.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie.)

Ein fester Körper, den man einer mechanischen Beanspruchung aussetzt, ändert seine Gestalt. Nimmt der Körper bei Aufhebung der Beanspruchung wieder seine ursprüngliche Form an, so ist er nur elastisch beansprucht worden, bleibt dagegen etwas von der Formänderung zurück, so hat Überbeanspruchung stattgefunden. Eine Überbeanspruchung kann den Körper zerreißen, oder bloß verformen; nur wenn er sehr spröde ist, zerreißt er ohne vorherige Verformung.

An recht verschiedenen Materialien hat man die Verformung und das Zerreißen bisher untersucht: Das Zerreißen ist von GRIFFITH (1) mit Erfolg an amorphen Körpern, Glas und Quarz studiert worden, die sehr ausgedehnten Erfahrunder Technik über Festigkeit und Bearbeitung beziehen sich auf krystallinische Materialien, Steine und Metalle, die auch das Vorbild für die mathematische Theorie der Plastizität (PRANDTL, HENCKY, NADAI) abgegeben haben. Dagegen ist die *physikalische* Analyse der Verformung und der Verfestigung in erster Linie an einzelnen Krystallen, und zwar an Salzkrystallen, und besonders an Metallkrystallen ausgeführt worden.

Mein heutiger Vortrag beschäftigt sich hauptsächlich mit den Untersuchungen an Metallkrystallen, wobei allerdings an manchen Punkten auch Beobachtungen verwendet werden, die man in der Technik gesammelt hat.

1. *Einkrystalldrähte und -Stäbe.*

Seit der LAUEschen Entdeckung der Beugung von Röntgenstrahlen am Krystallgitter hat der Begriff des Krystalles für den Physiker eine bedeutsame Verschiebung erfahren. Wenn wir heute von einem Krystall sprechen, so denken wir kaum mehr an die gesetzmäßige äußere Form, an die Krystallebenen und Kanten, die uns früher vor allem als Merkmale eines Krystalles vorschwebten. Der wichtigste Inhalt des Krystallbegriffes ist vielmehr die durch das Beugungsphänomen sichtbar gemachte Krystallstruktur geworden, jene gesetzmäßige Anordnung der Moleküle, die man als Krystallgitter bezeichnet. Wenn man z. B. aus einem Steinsalzwürfel eine Kugel oder ein Stäbchen herausdrechselt, so verschwinden seine Krystallflächen; da aber die Kugel, das Stäbchen denselben Gitterbau hat wie der Steinsalzwürfel, von dem man ausgegangen war, so betrachten wir auch jene Körper als Steinsalzkrystalle, und sie werden „Einkrystallkörper" genannt. Infolge ihrer Gitterstruktur enthalten die Einkrystallkörper die Krystallflächen in latenter Form als Netzebenen von besonders dichter Atombesetzung, welche sich als Spaltflächen oder Gleitflächen auch zum Vorschein bringen lassen, wenn man die Einkrystalle zerreißt oder verformt. Auch die Krystallkanten finden sich in der Struktur als Gittergeraden von dichter Atombesetzung präformiert und werden beim Zerstückeln des Körpers als Kanten von Spaltflächen, beim Verformen derselben als Gleitrichtungen erkennbar.

Es gibt Einkrystallkörper, die nicht erst durch äußere Bearbeitung einer ursprünglich vorhandenen Krystalltracht verlustig worden sind, sondern von vornherein in Formen entstehen, die mit ihrer Krystallnatur nichts gemeinsam haben.

Solcher Art sind die Metall-Einkrystalle. Es sind dies Drähte und Stäbe aus Metall, die ihrer Struktur nach einzelne Krystalle sind, obzwar sich das an ihrer äußeren Form nicht zeigt. Auch hier treten die latenten Krystallflächen und -kanten zutage, wenn man den Körper einer Überbeanspruchung unterwirft. Einkrystalldrähte von Zink, die gemeinsam mit H. MARK und E. SCHMID ausführlich untersucht worden sind (2) reißen bei flüssiger Lufttemperatur entlang einer Krystallebene durch, welche sich am häufigsten als die Basisfläche (0001) des (hexagonal gebauten) Gitters erweist. Auch die Prismenfläche 1. Art $(10\bar{1}0)$ kommt als Reißfläche vor. Zuweilen kommen beide Ebenen zum Vorschein und damit tritt auch die Kante auf, in der sie sich schneiden, welche die latente Krystallkante $[10\bar{1}0]$ (digonale Achse 2. Art) ist. (Vgl. Fig. 1, 2 und 3.)

Bemerkenswert ist hierbei der Umstand, daß die Reißfläche bei verschiedenen Einkrystalldrähten desselben Metalles in verschiedener Neigung zur Drahtachse auftritt. Es zeigt sich hierin, daß die Netzebenen (und damit das ganze Krystallgitter) in jedem Einkrystalldraht eine andere Orientierung zur Drahtachse haben. Da hiermit das Krystallgitter in jedem Draht in einer anderen Richtung beansprucht wird, erklärt es sich, daß bei verschiedenen Drähten auch verschiedene Ebenen als Reißflächen auftreten können. Es wird im allgemeinen eine solche Ebene bevorzugt, die sich näher zur Querlage befindet.

Auch die Verformung von Zinkkrystalldrähten, welche besonders ausgiebig unter Zugbeanspruchung bei gewöhnlicher oder erhöhter Temperatur eintritt, läßt latente Krystallflächen zutage treten und zwar als Gleitflächen, deren Spuren sich als Gleitlinien auf der Mantelfläche der gedehnten

[1] Vorgetragen auf der Kohäsions-Tagung der Faraday Soc. 1927.

Krystalle einzeichnen (vgl. Fig. 5). Auch eine Gittergerade ist dabei als Gleitrichtung ausgezeichnet und kann im gedehnten Draht krystallographisch identifiziert werden. Auf diese Gleitvorgänge wollen wir nun etwas näher eingehen.

2. *Gleitung in Einkrystallen.*

Das Ergebnis des Dehnungsversuches am Zinkkrystalldraht wird durch das Holzmodell veranschaulicht, welches in Fig. 4 gezeigt wird. Der ursprünglich zylindrische Körper wird durch die Dehnung zu einem Band mit elliptischem Querschnitt. Das kommt durch Gleitung entlang paralleler Ebenen zustande, deren Spuren als Gleitlinien in Form von Ellipsen auf der Mantelfläche des Bandes zu sehen sind (vgl. Fig. 5). Die im Modell angeschnittene Gleitebene trägt ein reguläres Sechseck, um zu zeigen, daß bei Zink als Gleitfläche hauptsächlich die Basis auftritt, dieselbe Ebene, die auch vorzugsweise als Reißfläche erscheint.

Der lange Pfeil, der auf der angeschnittenen Gleitfläche längs der großen Ellipsenachse eingetragen ist, gibt die Richtung an, in der ein angelegter Zug die größte Schubspannung erzeugt. Bei genauerer Betrachtung des Modells sieht man, daß die Gleitung nicht in dieser Richtung eingetreten ist, sondern parallel zu den kurzen Pfeilen.

Es äußert sich dies darin, daß die Ellipsenscheitel der Gleitlinien nicht in der Mittellinie des gedehnten Bandes gelegen sind, und auch darin, daß die Breite des Bandes größer ist, als die Dicke des Ausgangsdrahtes. Man kann dies sowohl am Modell als auch an den Bildern der gedehnten Krystalle feststellen.



Fig. 1.



Fig. 2.

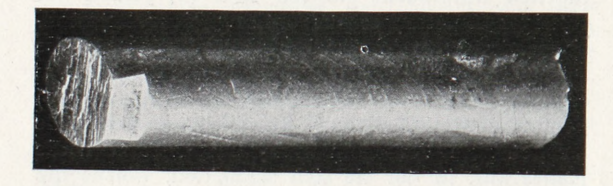


Fig. 3.

Latente Krystallflächen durch Zerreißes des Krystalldrahtes freigelegt.

In Fig. 1 tritt die Basisfläche (0001) von Zink auf, die sich durch hohen Glanz und eine dreifache feine Streifung von der in Fig. 2 gezeigten Prismenfläche (10$\bar{1}$0) unterscheidet, welche matt ist und nur eine derbe Streifung trägt. Fig. 3 zeigt, wie eine latente Krystallkante beim Reißen als Schnittgrade zweier Reißebenen freigelegt wird (Bi-Krystall nach G. SACHS).

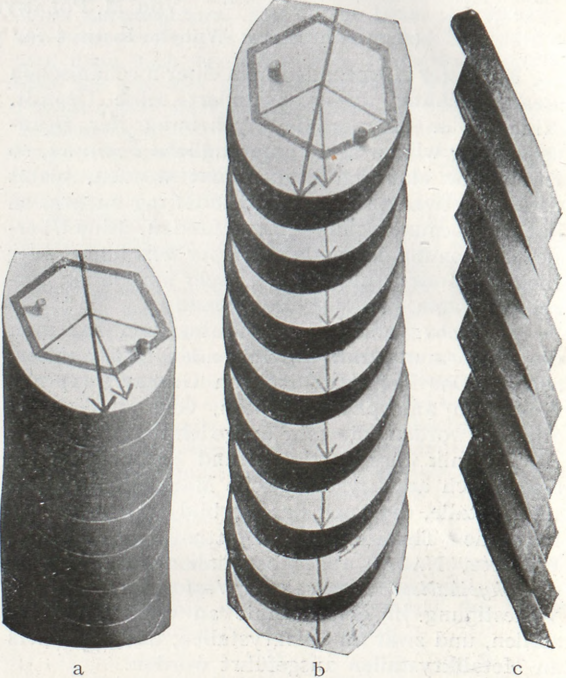


Fig. 4. *Modell der Dehnung.* a) Zinkeinkrystalldraht mit angeschnittener Basisfläche. Großer Pfeil = große Achse der Gleitellipse, in dieser Richtung wirkt bei Zugbeanspruchung größte Schubspannung. Kleiner Pfeil = [10$\bar{1}$0]-Kante, die sich als Gleitrichtung erweist. b) und c) Vorder- und Seitenansicht des gedehnten Modells. Zu bemerken: Bandform, Gleitlinien. Die Ellipsenscheitel liegen abseits von der Mittellinie des Bandes, Verbreiterung im Verhältnis zum Ausgangsdraht. Kleine Pfeile = Gleitrichtung parallel zur [10$\bar{1}$0]-Kante.

Die Ursache der Abweichung der Gleitrichtung von der Richtung größter Kraftwirkung liegt, wie man an dem Modell erkennt, im Krystallbau begründet. Es findet sich dies am Modell dadurch angedeutet, daß die von der Gleitung bevorzugte Richtung der kleinen Pfeile parallel zu den Seiten des Sechsecks gezeichnet ist: Damit soll sie also als latente Krystallkante gekennzeichnet werden und zwar als die bereits erwähnte Gittergerade, in der sich die Basis mit der Prismenfläche 1. Art schneidet und der krystallographisch das Symbol [10$\bar{1}$0] zukommt.

Der Gleitvorgang ist also nicht nur insofern eingeschränkt, als er in einer krystallographisch vorgeschriebenen Ebene erfolgt auch wenn diese von der Ebene größter Schubspannung (die stets unter 45° zur Zugachse gelegen ist) erheblich abweicht, sondern auch hierüber hinaus noch, dahingehend, daß die Gleitung in einer krystallographisch vorgeschriebenen Richtung dieser Ebene eintritt, welche von der stärksten Kraftwirkung in der Ebene abweicht. Eine Wirkung der Kraftrichtung ist hierbei allerdings insofern zu merken, als von den drei krystallographisch gleichwertigen $[10\bar{1}0]$-Geraden (die den drei Seitenrichtungen unseres Sechsecks Fig. 5 entsprechen), diejenige als Gleitrichtung ausgewählt wird, die den kleinsten Winkel mit der Kraftrichtung bildet. Auch diese Gesetzmäßigkeit ist in der Modellbemalung wiedergegeben.

Der hier beschriebene Mechanismus, durch den sich die Dehnung vollzieht, führt zu einem Wechsel

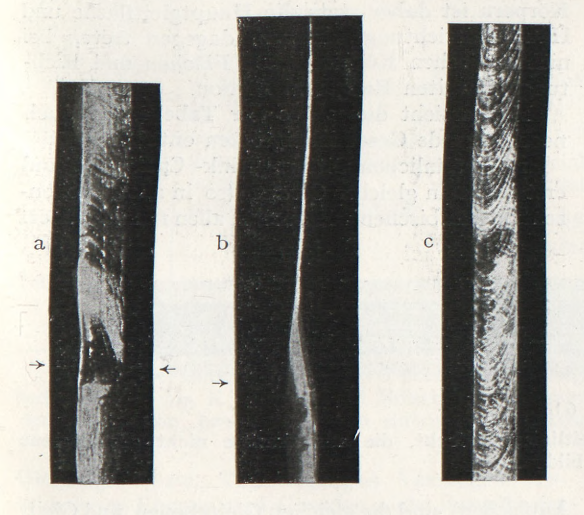


Fig. 5a und b zeigt die Dehnung eines Zinkkrystalles: a) Blick senkrecht auf die Bandfläche, b) parallel zu ihr. Von links bis zu den Pfeilen ungedehnter Krystall, der die annähernd zylindrische Ausgangsform beibehalten hat. Die Breite des hier beginnenden Bandes übertrifft ein wenig die Dicke des Ausgangsdrahtes. Fig. 5c zeigt nochmals einen gedehnten Zinkkrystall mit gut sichtbaren Gleitlinien, deren Scheitel deutlich von der Mittellinie des Bandes abgelegen sind.

der Orientierung des Krystallgitters in bezug auf die Achse des Einkrystalldrahtes. Eine Betrachtung des Modelles überzeugt davon, daß die Gleitfläche, also die Basisebene, bei fortschreitender Dehnung einen immer spitzeren Winkel mit der Drahtachse einschließt. Könnte man die Reckung auf die beschriebene Weise unbegrenzt fortsetzen, so würde die Basis sich schließlich völlig der Drahtachse anschmiegen. Tatsächlich erreicht man bei Dehnung von Zinkeinkrystallen eine Gitterlage, bei der die Basis nur 5—6° mit der Längsachse einschließt. Dabei wird durch die krystallographische Bestimmtheit der Gleitrichtung auch noch die (krystallographische) Richtung in der Basisebene festgelegt mit der sie sich der Drahtachse immer mehr parallel legt. Es ist dies die $[10\bar{1}0]$-Richtung, längs der die Gleitung erfolgt.

Mit der Verformung geht also eine gesetzmäßige Gitterdrehung einher, indem als Produkt der Dehnung ein Krystall entsteht, in dem die $[10\bar{1}0]$-Richtung nahezu parallel zur Zugachse liegt. In einer Schar von Zinkkrystallen mit verschiedener Gitterorientierung kann man demnach eine Gleichrichtung der Gitter erzielen, indem man die Krystalle einer Dehnung unterwirft. Ein Vorgang, bei dem sich dergleichen abspielt, nämlich eine Schar von Zinkkyrstallen mit verschiedenster Gitterorientierung gleichzeitig gedehnt wird, ist die Reckung eines gewöhnlichen mikrokrystallinen Zinkdrahtes. Es dreht sich dabei auch in der Tat in allen Krystallen das Gitter in der gleichen Weise um, und zwar auch hier so, daß sich die $[10\bar{1}0]$-Richtung nahezu parallel zur Zugachse einstellt.

Eine solche Regelung des Krystallgefüges, die man wegen ihrer Analogie zum Bau der natürlichen Zellstoffaser als Fasertextur bezeichnet, tritt bei der Reckung von Metallfäden fast immer ein, wobei natürlich je nach dem Gittertypus verschiedene Anordnungen entstehen (3). Bei Cadmium, dessen Gitter jenem von Zink ähnlich ist, stellt sich, wie bei Zink, die $[10\bar{1}0]$-Richtung in die Achse ein. Bei den raumzentriertkubischen Metallen (z. B. Wo, Mo, Fe) stellt sich die Flächendiagonale des Würfels ein. Bei den flächenzentriert kubischen Metallen (z. B. Cu, Ag, Al) entstehen zwei Krystallgruppen, die eine mit der Raumdiagonale des Würfels, die andere mit einer Würfelkante parallel zur Drahtachse. Das tetragonale Zinn bildet eine Ausnahme, indem hier bei der Reckung keine Fasertextur entsteht.

Die Übereinstimmung zwischen der Fasertextur und der Gitterdrehung im gereckten Einkrystall, auf die wir bei Zink hingewiesen haben, ist auch bei Cadmium (E. SCHMID) sowie auch bei einem raumzentriert-kubischen Metall, nämlich Wolfram [F. GOUCHER (4)] bestätigt worden. Bei dem flächenzentriert kubischen Aluminium ist jedoch eine noch nicht aufgeklärte Abweichung vorhanden. Die Orientierung, die sich hier bei der Dehnung des Einkrystalls einstellt, ist nur ausnahmsweise (nämlich bei Warmreckung) derjenigen gleich, die man in der Fasertextur beobachtet (19). Meistens tritt beim Einkrystall eine Endorientierung ein, bei der sich die [112]-Richtung in die Achse einstellt, was nach dem von TAYLOR und ELAM (5) aufgedeckten Dehnungsmechanismus auch verständlich ist. Weshalb sich hier die Kryställchen des mikrokrystallinen Drahtes bei der Dehnung anders einstellen als der Einkrystall, ist einstweilen noch nicht ganz klar.

Übrigens ist im Anschluß an die erwähnte Arbeit von TAYLOR und ELAM noch zu betonen, daß unsere Darstellung der Dehnung von Einkrystalldrähten durch die Wahl von Zink als

Beispiel etwas zu einfach ausgefallen ist. Der Umstand, daß bei Zink eine solche Netzebene überragendes Gleitvermögen besitzt, die im Gitter nicht mehrfach gleichwertig vorkommt, (es gibt nämlich nur *eine* Basisfläche im hexagonalen Krystall), bringt es mit sich, daß die Gleitung hier im überwiegenden Maße entlang einer einzigen Ebene erfolgt. Geht man dagegen zu kubischen Krystallen über, so tritt die Konkurrenz der zahlreichen gleichwertigen Gleitflächen und Gleitrichtungen (z. B. der 4 Oktaederflächen und 6 Würfelflächendiagonalen des Aluminiums) maßgebend in die Erscheinung. Die Endorientierung, der das Gitter im gedehnten Draht zustrebt, ist hier nicht mehr eine solche, bei der eine Gleitfläche und -richtung in die Dehnungsachse gelangt. Vielmehr ist hier die Endstellung durch die Bedingung vorgeschrieben, daß die gleichzeitig entlang verschiedener gleichwertiger Ebenen und Geraden verlaufende Gleitung keine weitere Drehung mehr zur Folge haben soll. Die Endlage ist ein stationärer Zustand, in dem die Drehungen, die von den Gleitungen längs der einzelnen verschieden gelegenen Gleitebenen bewirkt werden, sich gegenseitig aufheben.

Auch äußerlich zieht die gleichzeitige Gleitung längs verschiedener Ebenen eine Folgeerscheinung nach sich, die vom Zinkbeispiel abweicht. Statt der geschlossenen scharfen Gleitlinien, die an diesem Metall auftreten, führt die Konkurrenz verschiedener Gleitflächen zu einander durchkreuzenden, gezackten zuweilen bis zur Unerkennbarkeit verwaschenen Gleitspuren. In der Fig. 6 sieht man z. B. die ausgefransten Gleitlinien von Zinnkrystallen (6), die von einer gleichzeitigen Gleitung längs verschiedener Ebenen mit gemeinsamer Gleitrichtung (vgl. Tabelle 1) herrühren. Auf eine derartige gleichzeitige Wirksamkeit mehrerer Gleitflächen längs derselben Richtung wäre es wohl auch zurückzuführen, daß Taylor und Elam bei Eisen eine bestimmte Gleitrichtung gefunden haben, ohne eine Gleitfläche entdecken zu können (7).

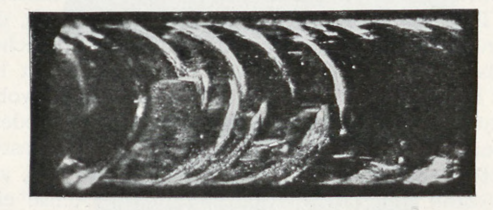


Fig. 6 a.

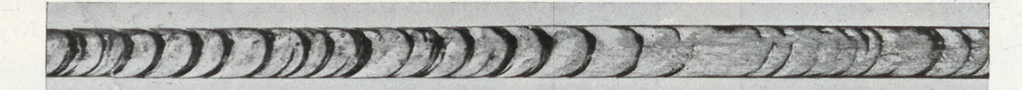


Fig. 6 b.

Gedehnter Sn-Krystall. Das Krystallband ist von Gleitlinien bedeckt, die ausgefranste nicht geschlossene Linien bilden.

3. *Gleitflächen, Gleitrichtungen, Reißflächen und Gitterbau.*

Wenn in einem Krystall nur bestimmte Ebenen und Geraden als Gleitbahnen zur Beobachtung gelangen, so liegt das vermutlich daran, daß diese Bahnen ein so überragendes Gleitvermögen besitzen, daß andere Ebenen und Geraden die ein geringeres Gleitvermögen haben, nicht zur Geltung kommen. Nur bei Gitterorientierungen, bei denen die bevorzugten Ebenen und Geraden besonders ungünstig zur Zugachse (also dieser nahezu parallel) gelegen sind, werden auch Bahnen von minderem Gleitvermögen in Aktion treten. Wegen des Vorhandenseins verschieden gelegener gleichwertiger Ebenen und Geraden in kubischen Krystallen ist in diesen eine Gitterorientierung nicht möglich, bei der die Vorzugsbahnen so ungünstig gelegen sind, daß andere zur Gleitung gelangen. Wohl aber kommt dies bei hexagonalen und tetragonalen Krystallen vor. Bei regulären Körpern ist daher stets die Hauptgleitfläche und Hauptgleitrichtung wirksam, dagegen treten bei nichtkubischen Körpern auch Flächen und Richtungen zweiten Ranges in Aktion.

Man ersieht dieses aus der Tabelle, die auch noch folgende Gesetzmäßigkeiten enthält.

1. In ähnlichen Gittern (Zink- Cadmium) und erst recht in gleichen Gittern (so in allen flächenzentriert kubischen wie auch in allen raumzentriert kubischen) sind die gleichen Gleitebenen und Gleitrichtungen vorhanden.

2. Die hervorragendsten Gleitbahnen sind meist die dichtest belegten Gitterebenen und Gittergeraden.

Auf den letzteren Punkt kommen wir später im Abschnitt über die Beziehungen der Festigkeit zur Gittertheorie noch zurück. Bezüglich des ersten sei erwähnt, daß neuere Beobachtungen gezeigt haben, daß sich das ähnliche Verhalten gleicher Gitter nicht ebenfalls auf den Verlauf der Konkurrenz verschiedener (gleichwertiger) Gleitflächen erstreckt. Es fand C. F. Elam (9), daß die Gleitung im (flächenzentriert-kubischen) Messingkrystall vom Verhalten reiner Kupferkrystalle abweicht. Auch sind nach E. Schmid und Wassermann (35) die Fasertexturen von Ag, Cu Au, die alle dasselbe Gitter haben, obwohl qualitativ übereinstimmend, doch in der Verteilung der Kryställchen auf die beiden Orientierungsgruppen (s. o.) verschieden. Es läßt sich hieraus schließen, daß auch bei Metallen mit gleicher Struktur das Verhältnis der

Tabelle 1. *Gleitrichtungen, Gleitflächen und Reißflächen von Metallen*[1].

Metall	Krystall-system	Gleitrichtungen	Gleitflächen	Reißflächen	dichteste Gitter-geraden	dichteste Gitter-flächen
Zink (2) Cadmium	hexagonal	— [$10\bar{1}0$]	Hauptgleitfläche (0001) $S_{-180^\circ} = 0{,}12 \frac{kg}{qmm}$ an zweiter Stelle wahrscheinlich ($10\bar{1}0$)	(0001) $Z_{-180^\circ} = 0{,}18 \frac{kg}{qmm}$ an zweiter Stelle ($10\bar{1}0$) $Z_{-180^\circ} = 1{,}8 \frac{kg}{qmm}$	dichteste [$10\bar{1}0$]	dichteste (0001) zweitdichteste (1010)
Zinn (6)	tetragonal	Hauptgleit-richtung [001] an zweiterStelle [101] an dritter Stelle [111]	(100) u. (110) beide anscheinend gleichwertig	—	dichteste [001] zweitdichteste [100] drittdichteste [111] viertdichteste [101]	dichteste (100) zweitdichteste (110)
Aluminium (5) Kupfer, Silber, Gold (8) Messing (9)	kubisch-flächen-zentriert	[101]	(111)	—	dichteste [101]	dichteste (111)
Wolfram (4) Eisen (10)	kubisch-raum-zentriert	[111]	? (Vgl. den Schluß von Abschnitt 2)	—	dichteste [111]	dichteste (111)
Wismut (12)	rhomboe-drisch (nahezu kubisch)	[101] und wahrschein-lich an zweit. Stelle [110]	(111) und wahrscheinlich an zweiter Stelle ($1\bar{1}1$) $S_{20^\circ} = 0{,}22 \frac{kg}{qmm}$	(111) $Z_{20^\circ} = 0{,}32 \frac{kg}{qmm}$ und wahrscheinlich an zweiter Stelle ($1\bar{1}1$)	dichteste [101] zweitdichteste [110]	dichteste (111) zweitdichteste (111)
Tellur (12)	rhomboe-drisch	wahrschein-lich [$10\bar{1}0$]	wahrscheinlich ($10\bar{1}0$)	($10\bar{1}0$) $Z_{20^\circ} = 0{,}43 \frac{kg}{qmm}$	[$10\bar{1}0$]	dichteste (0001)

[1] Die bei Zink, Wismut und Tellur zu den Gleitflächen und Reißflächen geschriebenen Zahlen (S u. Z) bedeuten die von E. SCHMID und Mitarbeiter bestimmten Werte der Schubspannung bzw. Zugspannung, bei der das Gleiten, bzw. das Reißen eintritt. (Vgl. Abschnitt 5.)

Gleitungs- (bzw. Verfestigungs-) Vermögen verschiedener Ebenen und Geraden nicht dasselbe ist (vgl. Abschnitt 7).

Das *Reißen* der Krystalle tritt vielfach durch fortschreitende Einschnürung ohne Ausbildung einer Reißfläche ein. Die Fälle, in denen Abreißen in Krystallen beobachtet worden ist, sind in der Tabelle aufgenommen. Auch die Reißebenen gehören, wie die Gleitflächen zu den Netzebenen dichtester, oder nahezu dichtester Belegung und stimmen bei Zink, Wismut und Tellur mit diesen überein, was bei Eisen (Wolfram) nicht der Fall ist.

4. *Festigkeit und Gittertheorie.*

Man sollte nun meinen, daß die enge Beziehung von Gleiten und Reißen zum Gitterbau, wie sie in dem ausgesprochenen Minimum der Festigkeit in den Netzebenen dichter Atombesetzung sowohl gegen Schub-, wie gegen Zugbeanspruchung zu tage tritt, ein Anzeichen dafür ist, daß sich die Festigkeit der Krystalle gittertheoretisch begründen und wohl auch berechnen läßt. Leider trifft diese Erwartung nicht zu.

Man erkennt dies schon daran, daß das Reißen und Gleiten nicht etwa so eintritt, daß die Kräfte, die den Krystall zusammenhalten, von den angelegten Beanspruchungskräften aufgehoben werden. Wäre dies der Fall, so gelangten die Atome im Augenblick, wo der Krystall plastisch nachgibt, in ein indifferentes Gleichgewicht. Die Dehnbarkeit würde in Richtung der kritischen Beanspruchung unendlich werden, oder mit anderen Worten, der Elast. Modul (bzw. der Schubmodul) würde verschwinden. Da dies nicht eintritt, vielmehr bis zur Grenze der Überbeanspruchung kaum Abweichungen vom HOOKEschen Gesetz beobachtbar sind, so ist demnach das mechanische Versagen des Metalles als ein „vorzeitiges" zu betrachten. Es tritt weit unterhalb der Anspannung ein, die zur Zerstörung des idealen Krystallgitters theoretisch notwendig wäre.

Diese indirekte Schlußweise kann für das Reißen durch Ausrechnung der gittertheoretischen Festigkeit und Vergleich mit dem wirklich gefundenen Wert bestätigt werden (13) (14). Der theoretische Wert liegt bei mehreren 100 kg/qmm, gegenüber etwa 0,2 bis etwa 0,5 kg/qmm, die bei Stein-

salz, bzw. Zink gefunden worden sind; der experimentelle Wert ist also weniger als 1% des theoretischen.

Man hat diesen Widerspruch zu erklären versucht durch die Annahme von auslösenden Momenten, die das vorzeitige Versagen der Krystalle erklären sollen. Nachdem anfangs eine Tendenz bestand, hierfür triviale Fehlstellen (Risse) verantwortlich zu machen (was besonders durch die erfolgreichen Arbeiten von GRIFFITH an amorphen Körpern angeregt wurde) ist man heute geneigt hauptsächlich die Temperaturbewegung heranzuziehen. Die interessante Diskussion, die in dieser Richtung auf verschiedenen Grundlagen einerseits von A. SMEKAL (16), andererseits von R. BECKER (17) eingeleitet worden ist, hat noch zu keinem endgültigen Ergebnis geführt. Eine abschließende Gittertheorie des Reißens und Gleitens wird voraussichtlich auch die bisher noch in diesem Zusammenhang unerörtert gebliebene Zwillingsbildung zu umfassen haben. Denn auch dieser Vorgang tritt im Bereich des HOOKEschen Gesetzes, also „vorzeitig" ein.

5. *Festigkeit bei variabler Orientierung.*

Angesichts der Machtlosigkeit, mit der wir einstweilen dem zentralen Problem der Festigkeit gegenüberstehen, muß sich die Untersuchung darauf beschränken, die Gesetzmäßigkeiten der tatsächlich beobachtbaren Festigkeit aufzusuchen, in der Hoffnung, hierdurch der späteren Lösung der Grundfrage zu dienen. Ein fruchtbarer Weg ist hierzu die Messung des Gleit- und Reißwiderstandes von Metallkrystallen bei verschiedenen Orientierungen des Gitters in bezug auf die Achse des Einkrystalldrahtes. In einer Reihe ausgedehnter Meßreihen fand E. SCHMID (11), (12), (15) an Zink-Wismut- und Tellurkrystallen, das einfache Gesetz, daß jede Gleitfläche bei einer bestimmten Schubspannung zu gleiten beginnt, ohne Rücksicht auf die Größe des zugleich senkrecht zur Fläche herrschenden Zuges, und daß umgekehrt das Reißen durch einen bestimmten senkrecht zur Reißfläche wirkenden Zug herbeigeführt wird, ohne daß die zugleich *in* der Reißfläche wirkende Schubspannung von Einfluß wäre. SCHMID konnte zeigen, daß die alten Festigkeitsmessungen von W. VOIGT (18) an verschiedenen orientierten Steinsalzstäbchen sich ebenfalls in diese Gesetzmäßigkeit einfügen.

Die Gesetzmäßigkeit ist von G. SACHS (19) bei der Gleitung von Al ebenfalls vorgefunden worden.

6. *Verfestigung. Schub- und Reißverfestigung.*

Eine Reihe anderer mehr qualitativer Gesetzmäßigkeiten findet man, indem man der in der Technik bedeutungsvollen Erscheinung der Verfestigung durch Kaltreckung bei den Einkrystallen nachspürt. Eine Komplikation ist dabei der Umstand, daß die Reckung die Orientierung des Krystalls ändert, wobei seine Festigkeit sich auch ohne eigentliche Eigenschaftsveränderung steigern kann, lediglich weil die Belastung, die zur Erzielung einer bestimmten Zug- oder Schubspannung in der maßgebenden Gleit- oder Reißfläche nötig ist, durch die Gitterdrehung erhöht wird. Es gelang jedoch gemeinsam mit E. SCHMID (20), (21), (22) diesen Einfluß auszuschalten und den Nachweis zu führen, daß die Schubfestigkeit der Gleitflächen bei der Reckung von Sn, sowie Zink-Einkrystallen auf das mehrfache ansteigt (Schubverfestigung). Andererseits wies eine Untersuchung die gemeinsam mit G. MASING ausgeführt wurde (23) auch nach, daß die Reißfestigkeit von gewalztem Zink in flüssiger Luft etwa das 200fache des Wertes erreicht, den man unter gleichen Umständen am Einkrystall beobachtet (Reißverfestigung). Auch die von JOFFE (24) entdeckte stark erhöhte Reißfestigkeit von Steinsalz bei Zerreißen unter Wasser erwies sich als ein Verfestigungseffekt (25), der durch die bisher noch völlig rätselhafte erhöhte Plastizität des feuchten Steinsalzes bedingt ist.

Mit Hinblick auf den vorigen Abschnitt könnte man diese Ergebnisse auch noch so zusammenfassen: Die Kaltreckung bewirkt eine Veränderung im Krystall, durch die das Reißen und Gleiten weniger „vorzeitig" eintritt, also die Festigkeit sich dem theoretischen Wert nähert.

7. *Der gebogene Krystall.*

Wieso kann aber — wird man fragen — ein Krystall seine Eigenschaften durch die Reckung verändern? Es ist klar, daß eine solche Erscheinung eine Ergänzung unserer Vorstellung über den Gitterbau fordert, damit das Gitter des verformten Krystalles anders gedacht werden könne, als das des unverformten.

Ich glaube, daß man den Ansatz zu der hier nötigen Vorstellung findet, indem man den gebogenen Krystall betrachtet. Wir biegen einen Einkrystallstab in der Mitte durch. Wie geht eine solche Formveränderung vor sich? Wie ist der Zustand des Gitters im verformten Teil?

Als Mechanismus der Verformung kann nach MUEGGE (26) die *Biegegleitung* gelten, wie er sie u. a. bei Biegung von Gipsplättchen beobachtet hat. Die gleitenden Krystallschichten verschieben sich bei der Biegegleitung nicht parallel zueinander, sondern *krümmen* sich während der Gleitung zylindrisch um eine Achse, die senkrecht zur Gleitrichtung steht (Fig. 7).

Bezüglich des Zustandes in der gebogenen Krystallpartie ist zunächst zu sagen, daß es unmöglich ist, daß das Gitter in ihr unversehrt sei. Wie der modifizierte Gitterzustand im einzelnen beschaffen ist, das wissen wir nicht, aber es muß jedenfalls folgendes zutreffen:

1. Die gebogenen Gleitschichten enthalten elastische Spannung. Auf der konvexen Seite Zugspannung, an der konkaven Seite Druckspannung.

2. Zwischen 2 gebogenen Gleitschichten ist das Gitter unterbrochen, weil eine gedehnte Schicht an eine zusammengedrückte angrenzt.

Dieser Gitterzustand ist durch das Schema in Fig. 8 dargestellt, in dem 2 gebogene Gleitschichten gezeichnet sind. Man sieht, daß die durch Gleitung entstandenen Trennungsflächen von gewöhnlichen Korngrenzen prinzipiell dadurch unterschieden sind, daß hier krystallographisch *gleichartige* Flächen aneinander grenzen. In Anbetracht dieser Eigenart seien diese Trennungsstellen als „innere Trennungsflächen" bezeichnet. Bemerkt sei noch, daß die elastischen Verzerrungen außerordentlich übertrieben gezeichnet sind. In Wirklichkeit dürften sie 0,5% nicht überschreiten.

Nun fragt sich, ob dieses Bild des gebogenen Krystalles es irgendwie verständlich macht, daß ein solcher Krystall verfestigt ist? Ich glaube diese Frage bejahen zu können.

Der gebogene Krystall muß verfestigt sein, weil das Gitternetz längs der inneren Trennungsflächen durchbrochen ist und damit jene Gleitbahnen (Gleitrichtungen und Gleitflächen), die diese Trennungsflächen zu durchsetzen hätten, blockiert sind. Es muß also, nach erfolgter Gleitung in einem System paralleler Gleitflächen jede weitere Gleitung in neuen, die ersten durchkreuzenden behindert, der Formänderungswiderstand in dieser Hinsicht erhöht sein.



Fig. 7. Gebogene Gleitschichten an Zinn. Das Bild zeigt die Übergangsstelle zwischen Ausgangsdraht und Band, das Band selbst ist abgerissen. Vergr. 20fach.

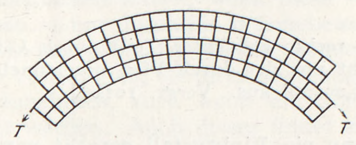


Fig. 8. Schema zweier benachbarter elastisch gebogener Gleitschichten. Das Gitter durch ein Netz angedeutet, an dem man merkt, daß die konvexe Seite gedehnt, die konkave gepreßt ist. Entlang der Berührungsfläche $T-T$ sind die Gittergeraden bzw. Gitterflächen unterbrochen. Sie stellt eine „innere Trennungsfläche" des Krystalls dar.

Hier wird man allerdings einwenden, daß dieses Bild der Verfestigung unzutreffend ist. Denn diese erfolgt in Wirklichkeit nicht nur hinsichtlich der Gleitungen, die der zuerst einsetzenden nicht parallel sind, sondern auch in den zuerst in Aktion tretenden Gleitflächen selbst. Doch ist dem entgegenzuhalten, daß eine bevorzugte Verfestigung der zunächst „latenten" Gleitflächen unverkennbar vorhanden ist. Diese Erscheinung, die zuerst bei Zinn festgestellt wurde (27), und hier wohl auch am ausgeprägtesten ist, zeigte sich dann im geringen Maße auch bei Aluminium und tritt nach den neuen Untersuchungen am Messing auch bei diesem Metall sehr deutlich hervor[1] (28). Aber wenn auch hiermit die durch das Gitterbild des gebogenen Krystalls nahegelegte *bevorzugte* Verfestigung der später einsetzenden Gleitbahnen sich bestätigt findet, so muß doch zugegeben werden, daß von einer *ausschließlichen* Verfestigung dieser Bahnen nicht die Rede sein kann. Um dies zu erklären, muß man eben annehmen, daß die Gleitung von Anfang an nicht ausschließlich in einem einzigen System paralleler Bahnen erfolgt, sondern daß bereits zu Beginn auch andere, die Bahnen der Hauptgleitung durchkreuzende geringere Rutschungen eintreten, die, obwohl für den grob meßbaren Formänderungsvorgang belanglos, doch zur Erhöhung des Widerstandes in den Bahnen der Hauptleitung führen. Es ist in der Tat wenig wahrscheinlich, daß sich die Gleitung jemals streng auf ein paralleles Ebenensystem beschränkt. Bei Aluminiumkrystallen konnten G. SACHS und R. KARNOP (19) durch genaue Messungen der Formänderung das Mitwirken mehrerer Gleitflächen gleich vom Beginn der Dehnung ab nachweisen. Auch bei Zink, wo die Bevorzugung einer Gleitebene (der Basis) am weitesten zu gehen scheint, erkennt man beim Zerreißen des Krystalles auf der Reißfläche Streifungen, die Spuren mehrfacher, sich kreuzender Gleitungen sind (2).

Nun ist auch noch eingewendet worden, daß es sich im gebogenen Krystall um einen Spezialfall plastischer Deformation handelt, mit dem solche Reckungen, die als reine Parallelschiebungen von Gleitschichten vor sich gehen, nicht ohne weiteres gleichgesetzt werden dürfen. Doch ist dies Bedenken unbegründet, da auch in den scheinbar am gleichmäßigsten gedehnten Krystallen eine Wellung der Gleitflächen im LAUE-Diagramm nachweisbar ist (31).

Übrigens umfaßt die hier vorgeschlagene Deutung nur die eine Form der Verfestigung, nämlich jene, die den Widerstand gegen Schub erhöht. Die *Reiß*verfestigung bleibt unerklärt. Man kann höchstens auf die Verwandtschaft mit einer anderen ebenfalls rätselhaften Erscheinung hinweisen: Daß nämlich ein feinkörniges Metall eine viel höhere Reißfestigkeit hat, als ein grobkörniges, oder gar einkrystallinisches (23). Da bei der Verformung der Krystall durch innere Trennungsflächen unterteilt wird, so ist es verständlich, daß er sich dem feinkörnigen Metall ähnlich verhält.

8. *Entfestigung von Krystallen*[2].

Verformte Krystalle enthalten Spannungen und innere Trennungsflächen. Ihr Zustand ist

[1] Die Beobachtungen, aus denen E. SCHMID (29) zu der Folgerung gelangt war, daß sich bei Zink die latenten Gleitflächen *weniger* stark verfestigen, als die zuerst aktiven, sind nach den neueren Beobachtungen von MATHEWSON (30) und von E. SCHMID selbst in anderem Sinne zu deuten.

[2] Dieser Abschnitt stützt sich auf gemeinsame

also in doppelter Weise energiereicher als der des Ausgangskrystalles, nämlich einerseits durch den Spannungsgehalt und andererseits durch die Energie der inneren Trennungsflächen. Ein solcher Zustand ist ein Zwangszustand und muß ein Bestreben zur Rückkehr in den Normalzustand haben, so daß sich erwarten läßt, daß gelegentlich eine selbsttätige Rückverwandlung in den letzteren erfolgt. Bei Polykrystallen ist eine solche Rückverwandlung verfestigten Materials in einen entfestigten Zustand bei Lagerung und besonders bei Wirkung erhöhter Temperatur (Ausglühen) wohlbekannt und es lag daher nahe, diese Erscheinung mit dem soeben postulierten Rückverwandlungsvermögen des verformten Krystalls in Zusammenhang zu bringen.

Der erste Schritt, der zur Anknüpfung dieses Zusammenhanges nötig war, der Nachweis der Entfestigung am Einkrystall, gelang. Dabei wurden am gedehnten Zinnkrystall zwei verschiedene Arten der Entfestigung gefunden: 1. Eine allmähliche Entfestigung, die um so vollständiger ist, je höher die Glühtemperatur, je länger die Einwirkungsdauer ist. 2. Eine zweite Art Entfestigung, die stets auf den Ausgangswert der Festigkeit zurückführt, ohne (definierte) Zwischenstadien. Im ersten Falle ist eine Änderung im Gefüge des Einkrystalls nicht bemerkbar. Man nennt diese Art Entfestigung „*Erholung*" oder „Vergütung". Im zweiten Falle besteht der Draht nach dem Ausglühen meist aus zwei oder mehr Krystallen, hier ist ein Kornzerfall, eine *Rekrystallisation* eingetreten. Da Erholung und Rekrystallisation auch beim Polykrystall beobachtet worden sind (nur daß die erste Erscheinung wegen der Kompliziertheit des vielkrystallinischen nur vermutet, nicht sichergestellt werden konnte), so steht in qualitativer Hinsicht der gesuchte Anschluß vom Einkrystall zum Vielkrystall hiermit fest.

Nehmen wir weiter an, wie wir es im vorangehenden Abschnitt getan haben, daß die Verfestigung durch die inneren Trennungsflächen verursacht wird, so muß die Entfestigung auf einem Ausheilen dieser Trennungsflächen beruhen, durch die die Unterteilung des Krystalles verschwindet oder zumindest herabgesetzt wird, so daß größere Bereiche eines unversehrten Gitters entstehen. Ein solches Ausheilen würde nicht die Entstehung neuer Krystallkörner, sondern lediglich eine Vergütung der vorhandenen herbeiführen. Je ausgedehnter die Gitterheilungen, um so weitgehender die Entfestigung.

Die Triebkraft einer solchen Gitterheilung müßte dem Bestreben der längs der Trennungsfläche gelegenen Atome zur Rückkehr in eine normale Lage gelegen sein. Die Materialbewegung, die von diesen Kräften verursacht wird, kann nur von der Größenordnung des Atomabstandes sein, kann also keine sichtbaren Glättungen der gekrümmten Gleitschichten herbeiführen. Daher würde der Spannungsgehalt eines Krystalles durch die Erholung nur unwesentlich herabgesetzt werden. Der Spannungsgehalt bliebe als Triebkraft für die Rekrystallisation erhalten, welche bei weiterer Erhöhung der Temperatur ausgelöst wird. Die Rekrystallisation müßte als ein *Spannungsausgleich aufgefaßt werden, der statt durch Gleitung im Wege von Kornwachstum erfolgt*[1].

Es scheint mir, daß einige wesentliche Beobachtungen mit diesem hypothetischen Bild im guten Einklang stehen.

1. Bei der Erholung bleibt die Wellung der Gleitflächen, wie das Röntgenbild zeigt, erhalten (G. SACHS (19). Dagegen führt Rekrystallisation (soweit nicht während derselben sekundäre Verspannungen eintreten) zu einem gesunden Korn.



Fig. 9. Ein partiell gedehnter Sn-Krystall (links ungedehnter, rechts gedehnter Teil) durch Glühen zur Rekrystallisation gebracht. Das Wachstum des neuen Kornes geht von der durch Pfeil bezeichneten Übergangsstelle zwischen ungedehntem und gedehntem Krystall aus. Vergr. 10fach.

2. Wenn ein Einkrystall gereckt wird, so ist die Wirkung der Reckung auf Festigkeit und Rekrystallisationsvermögen völlig verschieden, je nachdem, ob die Reckung als eine Dehnung erfolgt, die so verläuft, wie wir es in unserem Dehnungsmodell dargestellt haben, oder durch Auswalzen oder Hämmern erzielt wird. Beim Dehnen erhält man viel geringere Verfestigung und viel geringeres Rekrystallisationsvermögen als beim Walzen oder Hämmern [z. B. ein auf das Fünffache gedehnter Sn-Krystall rekrystallisiert erst knapp unter dem Schmelzpunkt (210°), ein gleich lang ausgewalzter bei 60°]. Der Unterschied rührt daher, daß die Gleitschichten durch die Dehnung nur verhältnismäßig geringe Biegungen erleiden und schließlich zu einer annähernd ebenen Gestalt gelangen. Beim Walzen, Hämmern erfolgt dagegen eine Durch-

Versuche mit E. SCHMID, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 4. 1923; Zeitschr. f. Phys. 32, 684. 1925.

[1] Damit wird nicht etwa bestritten, daß ein Teil der inneren Spannungen während der Erholung und auch bereits unterhalb der Erholungstemperatur schwinden kann. Es wird nur behauptet, daß dies zwar auf das Rekrystallisationsvermögen von Einfluß sein kann, aber an sich keine Erholung bewirkt. Vgl. G. SACHS und H. SCHOJI, Zeitschr. f. Phys. 45, 776. 1927.

knetung der Gleitschichten mit entsprechender Spannungsanhäufung und ausgiebiges Entstehen innerer Trennungsflächen (21).

3. Wird ein partiell gedehnter Krystall geglüht, so geht die Rekrystallisation von der Stelle aus, an der das gedehnte Krystallband an den ungedehnten Krystallteilen angrenzt (Fig. 9). Das größte Rekrystallisationsvermögen ist also hier nicht bei äußerster Reckung vorhanden, sondern in einem mittleren Gebiet. Die Besonderheit dieses Übergangsgebietes liegt darin, daß hier die Gitterorientierung des Ausgangsdrahtes in jene des Krystallbandes übergeht, so daß der Krystall hier gebogen ist. Die an dieser Stelle stark gebogenen Gleitschichten werden im weiteren Verlauf der Dehnung, welche sie in das Krystallband überführt, wiederum so weit geebnet, daß keine dem Auge sichtbaren Krümmungen übrig bleiben (21).

Das bedeutet: Daß im Verlaufe einer Reckung, während der die Gleitschichten des Krystalls vorübergehend gebogen und dann wieder geglättet werden, das Rekrystallisationsvermögen an der Stelle, wo die Umbiegung erfolgt, einen Höhepunkt erreicht, also *trotz fortschreitender Reckung wieder abfällt, wenn die Gleitschichten dabei geglättet werden.* Dies steht im Einklang mit unserer Auffassung, daß es die in (groben) Gleitschichtenkrümmungen angehäuften elastischen Spannungen sind, welche die Rekrystallisation herbeiführen.

Keinen Einfluß dürfte die mechanische Glättung der Gleitschichtenkrümmungen auf die inneren Trennungsflächen haben, wenn diese — wie wir annehmen — nur durch die Wärmebewegung zum Verschwinden gebracht werden können. Daher muß die Verfestigung bei fortschreitender Reckung weiter zunehmen, auch wenn die Gleitschichten geglättet werden. Auch dieses findet sich (durch die Analyse der Dehnungskurve) bestätigt: *Trotz abnehmenden Rekrystallisationsvermögens nimmt die Verfestigung bei Weiterreckung zu.*

Die hier beschriebene Umkehr des Rekrystallisationsvermögens und Weiterschreiten der Verfestigung bei Rückbiegung der Gleitschichten ist wohl auch die Erklärung für folgenden einfachen Versuch von J. CZOCHRALSKI (32): Ein Krystallstab (Aluminium) wird gedrillt. Dabei erlangt er ein Rekrystallisationsvermögen und zugleich verfestigt er sich. Bei Rückdrillung wird das Rekrystallisationsvermögen herabgesetzt, die Verfestigung nimmt dagegen, wie G. SACHS (37) gezeigt hat, weiter zu.

4. Schließlich sei noch auf die sehr merkwürdige Beobachtung von E. SCHMID (33) hingewiesen, daß bei der Erholung nicht nur der erhöhte Verformungswiderstand zurückgeht (bisher war stets nur von dieser „Schuberholung" die Rede), sondern daß es auch eine „Reißerholung" gibt: Schwinden der durch die Formänderung erhöhten Reißfestigkeit ohne Rekrystallisation. Diese (im Grunde genommen freilich noch völlig rätselhafte) Erscheinung steht mit unsrer Vermutung im Einklang, daß es die inneren Trennungsflächen sind, welche die Reißverfestigung bedingen.

9. *Einkrystall und Vielkrystall* (34).

Einkrystalle werden also, genau wie Vielkrystalle, durch Verformung verfestigt und zwar sowohl gegen Gleiten wie gegen Reißen. Der verfestigte Zustand erweist sich auch beim Einkrystall als Zwangszustand, der beim Erhitzen in den Normalzustand zurückkehrt, entweder durch Erholung oder durch Rekrystallisation. Aber dies gilt nur qualitativ. Quantitativ gibt es große Unterschiede. Man vergleiche z. B. die Dehnungskurven eines Einkrystalles und eines Vielkrystalles in Fig. 10. Man sieht, um wie vieles rascher der Einkrystall sich bei der Dehnung verfestigt. Der gleiche Unterschied zeigt sich in dem Rekrystallisationsvermögen, das durch Verformung entsteht. Bei gleicher Verformung ist der Einkrystall erst durch viel höhere Erhitzung zur Rekrystallisation zu

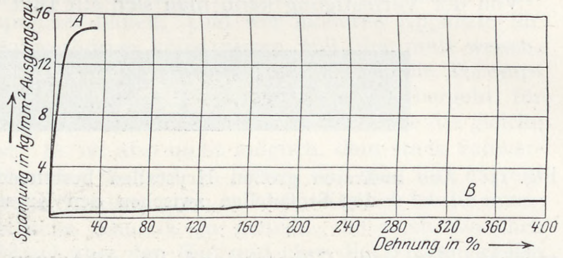


Fig. 10. Dehnungskurven von Zn. *A*. Ausgeglühter Polykrystall, *B*. Einkrystall.

bringen als der Vielkrystall. Der Unterschied muß, wenn unsere Auffassung der Verfestigung und des Rekrystallisationsvermögens zutrifft, darin liegen, daß die inneren Trennungsflächen und die Spannungsansammlungen in gekrümmten Gleitschichten im Korn des gereckten Polykrystalls bei gleicher Reckung in größerer Menge entstehen, als beim Einkrystall. Daß dem in der Tat so sein muß, zeigt ein Blick auf das allseits an seine Nachbarn geheftete Krystallkorn des Vielkrystalls sofort: ein solches kann unmöglich jene gesetzmäßige Formänderungen (Bandbildung usw.) durchmachen, die das Entstehen eines gedehnten Krystalles mit ebenen Gleitflächen allein ermöglichen. Vielmehr wird der Zusammenhalt an den Korngrenzen im allgemeinen den Körnern Formveränderungen aufzwingen, die eine tüchtige Durchknetung ihres Inneren bewirken.

Es ist zu erwarten, daß dieser Zwang, der an den Korngrenzen einwirkt, sich in deren unmittelbarer Nachbarschaft am stärksten äußert. Und in der Tat: Die Korngrenzen sind Stellen stärkster Verfestigung. Man sieht es daran, daß bei Dehnung eines 2-Krystalldrahtes sich an der Stoßstelle stets ein Knoten bildet (Fig. 11). Auch sind die Korngrenzen Stellen bevorzugter Keimbildung bei der Rekrystallisation, wie dies CHAPPEL (36) schon vor längerer Zeit nachgewiesen hat und

auch Versuche am 2-Krystalldraht bestätigt haben (34).

Bemerkenswert ist, worauf G. SACHS (19) hingewiesen hat, daß der Unterschied im Verhalten von Einkrystall und Vielkrystall bei kubischen Metallen geringer ist. Vermutlich deshalb, weil hier stets mehrere Gleitflächen und Richtungen wirksam sind, die sich durchkreuzen und so eine schnellere Verfestigung herbeiführen.

10. *Stand der Hauptfragen.*

Der geometrische Mechanismus der Formänderung von Krystallen scheint sich den früheren mineralogischen Erfahrungen anzuschließen und im wesentlichen geklärt zu sein. Ungeklärt scheint mir dagegen die Frage des „vorzeitigen" Eintretens des Reißens, der Gleitung und der Zwillingsschiebung. Diese drei Formänderungen sind eng miteinander verwandt, so daß sie nur gemeinsam erklärt werden können.

Von der Verfestigung kann man sich ein Bild machen, das vom Gitterzustand im gebogenen Krystall ausgeht und nur notwendige Bestandteile enthält. Es erscheint mir demnach zulässig und erwünscht, diese Vorstellung bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit zu entwickeln. Das Bild vermag einige wesentliche Züge der Verfestigung, Erholung, Rekrystallisation zu erklären.

Allerdings kann auch manches genannt werden, was aus diesem Bild *nicht*, oder nicht ungezwungen erklärt werden kann. So die Änderung der magnetischen und elektrischen Konstanten bei der Verformung, die Erhöhung der Anfärbbarkeit von Steinsalz durch Natriumdampf (PRIBRAM und SMEKAL), Einfluß von Wasser auf das Formänderungsvermögen von Steinsalz u. a. m., Vielleicht weist die eine oder die andere dieser Erscheinungen auf die Ergänzungen oder Abänderungen hin, deren unsere Vorstellung noch bedarf.



Fig. 11. Aus mehreren großen Krystallen bestehender Stab, nach erfolgter Dehnung. Knotenbildung an den Stoßstellen zwischen den Krystallen (nach WETZEL). $^2/_3$ nat. Größe.

Literatur:

1. A. A. GRIFFITH, Phil. Trans. **221** A, 163. 1921.
2. H. MARK, M. POLANYI und E. SCHMID, Zeitschr. f. Phys. **12**, 58. 1922.
3. M. ETTISCH, M. POLANYI und K. WEISSENBERG, Zeitschr. f. phys. Chem. **12**, 58. 1922.
4. F. S. GOUCHER, Philosoph. mag. (6) **48**, 229 u. 800. 1924.
5. G. J. TAYLOR und C. F. ELAM, Proc. of the roy. soc. of London, Ser. A. **102**, 643. 1923.
6. H. MARK und M. POLANYI, Zeitschr. f. Phys. **18**, 75. 1923.
7. G. J. TAYLOR und C. F. ELAM, Proc. of the roy. soc. of London, Ser. A. **112**, 289. 1926.
8. C. F. ELAM, Proc. of the roy. soc. of London, Ser. A. **112**, 289. 1926.
9. C. F. ELAM, Proc. of the roy. soc. of London, Ser. A. **115**, 148. 1927.
10. L. B. PFEIL und C. A. EDWARDS, Journ. Iron Steel Inst. **109**, 129. 1924.
11. M. POLANYI und E. SCHMID, sowie E. SCHMID und M. GEORGIEFF, Zeitschr. f. Phys. **36**, 759. 1926.
12. E. SCHMID und G. WASSERMANN, Dissert. des letzteren. Berlin 1927.
13. M. POLANYI, Zeitschr. f. Phys. **7**, 323. 1921.
14. F. ZWICKY, Phys. Zeitschr. **24**, 131. 1923.
15. E. SCHMID, Proc. Int. Congr. Appl. Mec. Delft 342. 1924.
16. A. SMEKAL, Physik. Zeitschr. **26**, 707. 1925; Zeitschr. f. techn. Phys. **7**, 535. 1926.
17. R. BECKER, Zeitschr. f. techn. Phys. **7**, 547. 1926.
18. A. SELLA und W. VOIGT, Ann. d. Phys. **48**, 636. 1893.
19. R. KARNOP und G. SACHS, Zeitschr. f. Phys. **42**, 283. 1927.
20. M. POLANYI und E. SCHMID, Verhandl. d. dtsch. phys. Ges. **4**. 1923.
21. M. POLANYI und E. SCHMID, Zeitschr. f. Phys. **32**, 684. 1925.
22. E. SCHMID, Zeitschr. f. Phys. **22**, 328. 1924.
23. G. MASING und M. POLANYI, Zeitschr. f. Phys. **28**, 169. 1924.
24. A. JOFFE, M. W. KIRPITSCHEWA und M. A. LEWITZKY, Zeitschr. f. Phys. **22**, 286. 1924.
25. W. EWALD und M. POLANYI, Zeitschr. f. Phys. **28**, 29. 1924; und **31**, 746. 1925.
26. O. MUEGGE, Neues Jahrb. Miner. 1898, I, S. 155.
27. M. POLANYI, Zeitschr. f. Kristallogr. **61**, 49. 1925.
28. Ich schließe dies aus dem Umstand, daß die zuerst einsetzende Gleitebene über den Punkt hinausgleitet, wo sie bei gleicher Schubfestigkeit von der konkurrierenden Gleitebene abgelöst werden müßte [vgl. (5) und (9)].
29. E. SCHMID, Zeitschr. f. Phys. **40**, 54. 1926.
30. C. H. MATHEWSON, Americ. Inst. Mining. Met. Inst. Januar 1927.
31. J. CZOCHRALSKI, Zeitschr. f. Metallkunde **15**, 60. 126. 1923; (CZOCHRALSKI hat seinen Befund anders gedeutet).
32. J. CZOCHRALSKI, Proc. Int. Congr. Appl. Mec. Delfst. 1924; Zeitschr. f. Metallkunde **17**, 1. 1925.
33. E. SCHMID, Zeitschr. f. Phys. **32**, 918. 1925.
34. Der Gedankengang dieses Abschnittes ist ausführlicher dargestellt bei M. POLANYI und E. SCHMID, Zeitschr. f. techn. Phys. **5**, 580. 1924.
35. E. SCHMID und G. WASSERMANN, Zeitschr. f. Phys. **42**, 779. 1927.
36. CHAPPEL, Journ. Iron. Steel Inst. **89**, 460, I. 1914.
37. G. SACHS, Zeitschr. f. Metallk. **18**, 209. 1926.

Die Bedeutung der Akustik für die Technik[1].

Von E. WAETZMANN, Breslau.

Die Technik ist angewandte Wissenschaft, die mit der reinen Wissenschaft in lebendiger Wechselbeziehung steht, und wenn sie früher vorwiegend die nehmende war, so hat sie unterdessen das, was sie von der reinen Wissenschaft empfangen hat, mit reichen Zinsen zurückgezahlt. Ein Musterbeispiel hierfür ist das Spezialgebiet, über das ich heute ein paar Worte sagen möchte, die Akustik. Sie war Jahrzehnte hindurch das Stiefkind der Physik, und erst Bedürfnisse der Technik haben hier Wandel geschaffen, und zwar waren es in erster Linie Bedürfnisse der Kriegführung. Die feindlichen Telephongespräche sollten abgehört werden, U-Boote wurden akustisch verfolgt, das Herannahen von Flugzeugen, namentlich bei Nacht, und unterirdisches Minieren mußten rechtzeitig festgestellt werden. Zur Bestimmung der Schallrichtung wurden sog. Richtungshörer mit künstlicher Vergrößerung des Ohrabstandes gebaut, also genau analog den Prismendoppelgläsern in der Optik. So wurde es möglich, den Standort feuernder Geschütze genau festzulegen, und ein fahrendes U-Boot konnte sich durch Untertauchen wohl noch dem Auge entziehen, aber nicht mehr dem Ohre. Der Unterwasser-Richtungshörer wurde zum furchtbarsten Feinde des U-Bootes.

Doch was der Krieg ersonnen hat, um Menschen zu vernichten, das trägt jetzt Früchte im Dienste der Menschheit. Der Richtungshörer gibt dem Seeman ein unschätzbares Hilfsmittel in die Hand, nach akustischen Signalen den schützenden Hafen anzusteuern, wenn alles andere versagt. Und ein Minenhorchgerät wird zum Studium von Bodenerschütterungen verwendet und kann im Rettungswesen im Bergbau eine Rolle spielen. Ferner ist es benutzt worden, um die Herztöne zu untersuchen und damit das Abhorchen der Geräusche des menschlichen Körpers, namentlich von Herz und Lunge, endlich auf ein höheres Niveau zu heben. Überhaupt ist das Problem, irgendwelchen Schall aus dem Wasser oder aus dem Erdboden oder aus dem menschlichen Körper aufzunehmen, grundsätzlich das gleiche. Das gleiche akustische Prinzip dient also dem Seemann, dem Bauingenieur, dem Bergmann, dem Arzte, und seine Anwendungsmöglichkeiten sind damit durchaus nicht erschöpft.

Um allgemeiner die Bedeutung der Akustik für die Technik zu skizzieren, legen wir uns am besten die Frage vor, was Akustik eigentlich ist. Wenn der Laie das Wort Akustik hört, so ist er geneigt, an mehr oder weniger gutes Klavierspiel, an Lautsprecher, und allenfalls noch an Fragen der Raumakustik zu denken. Damit ist der Aufgabenkreis der Akustik aber doch recht wenig schön umschrieben. Wie in jeder physikalischen Disziplin, so hat auch in der Akustik die Entwicklung dahin geführt, das Sinnesorgan, in unserem Falle also das Ohr, nach Möglichkeit auszuschalten und rein objektive Apparate und Methoden an seine Stelle zu setzen. So ist die Akustik zum Teil Elastizitätslehre und zum Teil Hydrodynamik geworden. Elastizitätslehre insofern, als sie sich mit den elastischen Schwingungen der Körper beschäftigt, und Hydrodynamik insofern, als sie die Schwingungs- und Strömungsvorgänge in Flüssigkeiten und Gasen zu untersuchen hat. Daneben bleibt bestehen die physiologische Akustik, die sich mit dem Hörorgan und mit den Tatsachen des Hörens sowie mit dem Stimmorgan und mit der Stimmbildung beschäftigt. Man soll nicht denken, daß diese Fragen für die Technik bedeutungslos sind. Wer die Eigenschaften des Ohres am besten kennt und wer die menschliche Sprache am genauesten analysieren kann, der wird auch das beste Telephon und den besten Lautsprecher bauen. Und wer moderne Apparate für Schwerhörige konstruieren will, der muß wissen, daß die Intensitätsschwelle, bei der die Tonempfindung in eine Schmerzempfindung übergeht, für Normalhörende und für Schwerhörende die gleiche ist. Es ist also nicht möglich, dem stark Schwerhörenden dadurch zu helfen, daß man ihm extrem große Schallenergien zuführt. Endlich ist die musikalische Akustik zu nennen, die noch manches Rätsel über den Bau und über die Wirkungsweise der Musikinstrumente zu lösen hat. Dem Geheimnis der Güte der alten Geigen ist man aber auf der Spur, und auch sonst ist die Akustik heute durchaus in der Lage, dem Instrumentenbau wertvolle Fingerzeige zu geben. Trotzdem sind bisher kaum die primitivsten Anfänge gemacht, um den Instrumentenbau auf wissenschaftlich-akustische Grundlage zu stellen. Ähnlich liegt es mit der Raumakustik. Noch immer werden Versammlungs-, Vortrags- und Konzerträume gebaut, ohne daß der Akustiker zu Rate gezogen wird. Der Erfolg ist dann oft der, daß Räume, die als Musikhallen gedacht waren, allenfalls für Sechstagerennen und ähnliche Unternehmungen geeignet sind. Gewiß steckt die Wissenschaft der Raumakustik noch in den Kinderschuhen, feste oder gar allgemeingültige Rezepte gibt es noch nicht. Aber bei genügender Erfahrung in der Abschätzung der gesamten akustischen Verhältnisse läßt sich doch schon manches helfen. In Amerika ist es selbstverständlich, daß der Architekt den Akustiker zu Rate zieht. Durch Modellversuche über den Verlauf der Schallwellen und unter Berücksichtigung der Absorptionsverhältnisse des in Aussicht genommenen Baumaterials werden dort schon beim Entwurf des Bauwerks die akustischen Verhältnisse geprüft, und auf diesem Wege sind sehr günstige Ergebnisse erzielt worden.

Wenden wir uns nun der rein physikalischen Akustik zu, der Elastizitätslehre, speziell der Schwingungslehre und der Hydrodynamik. Für

[1] Festrede, gehalten bei einer akademischen Feier der Technischen Hochschule Breslau, am 20. I. 1928.

den Physiker sind Töne Schwingungen. Ein Körper tönt, wenn er in der Sekunde etwa 20—20000 Schwingungen ausführt. 20 Schwingungen in der Sekunde repräsentieren den tiefsten Ton, den wir empfinden können, 20000 den höchsten. Je größer die Schwingungsanzahl pro Sekunde, um so höher ist der Ton. Die Schwingungszahlen zweier Töne, die eine Oktave bilden, stehen im Verhältnis 1:2. Daraus errechnet sich der Tonbereich, den das Ohr umfaßt, zu etwa 10 Oktaven. Im Vergleich zu dem Auge ist das eine enorme Leistungsfähigkeit des Ohres, denn der Bereich der elektromagnetischen Schwingungen, die auf das Auge als Licht wirken, umfaßt nur eine Oktave. Nebenbei bemerkt, wie es beim Sehen eine Alterserscheinung gibt, die Weitsichtigkeit, so auch beim Hören. Für den Menschen von 40—50 Jahren ist die obere Grenze der Schwingungszahlen, die noch als Töne empfunden werden, von 20000 auf etwa 13000 herabgedrückt. Aber nicht nur die hörbaren Schwingungen interessieren den Akustiker, sondern auch die unhörbaren. Wie die Optik neben dem sichtbaren Licht das ultrarote und das ultraviolette Spektrum zu untersuchen hat, so die Akustik neben den hörbaren Schwingungen auch die Schwingungen unterhalb und die Schwingungen oberhalb der Hörgrenze. Ob es sich um eine Schwingung in der Sekunde handelt oder um tausend oder um eine Million, die Schwingungsgesetze sind die gleichen.

Die langsamen Schwingungen unterhalb der Hörgrenze spielen eine ausschlaggebende Rolle in der gesamten Seismik, das ist die Lehre von den Bewegungen, speziell den Schwingungen im Erdkörper. Und an diesen hat naturgemäß der Bergmann ein großes Interesse. Wenn im Bergbaugebiet irgendein Haus aus irgendeinem Grunde — z. B. wegen schlechter Bauweise — einen Riß bekommt, so wird im allgemeinen die Bergverwaltung den Schaden zahlen müssen. Deshalb ist es auch volkswirtschaftlich von Wichtigkeit, den Ort und die Art einer Erderschütterung festzustellen. Die Fernbeben interessieren dabei weniger, wohl aber alles das, was man unter dem Namen Naheseismik zusammengefaßt hat: Die Erschütterungen, die irgendwie künstlich erzeugt werden und nur auf kurze Entfernungen wirksam sind. Ihr Studium hat schon beachtenswerte Erfolge beim Aufsuchen von Lagerstätten wertvollen Gesteins, namentlich von Kohle, gebracht und dürfte dahin führen, auch die Wünschelrute durch exakte mechanisch-akustische Methoden zu ersetzen. Ferner gibt sie dem Bauingenieur die Möglichkeit, den Baugrund zu erforschen und gibt ihm Fingerzeige, das Bauwerk vor Erschütterungen zu schützen. Dabei handelt es sich nicht nur um die langsamen, unhörbaren Schwingungen, die das Bauwerk bedrohen, sondern auch um die schnelleren, hörbaren Schwingungen, die die Nerven der Bewohner des Bauwerks bedrohen. Nebenbei bemerkt könnte hier manches auch ohne die Mitwirkung des Akustikers gebessert werden. Wenn Sie mit einem Scheinwerfer bewaffnet durch die Straßen gehen und jedem Passanten ins Gesicht leuchten, so werden Sie voraussichtlich sehr bald verhaftet werden. Wenn Sie aber mit Hilfe eines Explosionsmotors kanonenschußartige Knalle in den Straßen erzeugen, so findet das offenbar jederman völlig in der Ordnung — und lobt nur innerlich das Zeitalter der Technik und des Verkehrs. Auch ganz andere Aufgaben in bezug auf Schallbeseitigung sind von der Technik gestellt worden, ohne daß eine wirkliche Lösung bisher abzusehen wäre. So tauchte während des Krieges die Forderung des geräuschfreien Flugzeuges auf, und die knallfreie Feuerwaffe ist nicht nur für den Wildschützen ein Ideal.

Es sei noch besonders erinnert an die Schwingungen von Maschinen, Fundamenten, Brücken, Flugzeugen, Schiffen u. dgl., deren Bedeutung ohne jede Erläuterung klar ist. Greifen wir den Fall der Maschinenschwingungen heraus, und zwar den der unerwünschten Maschinenschwingungen. Jeder Ingenieur weiß, wie unangenehm sie werden können und wie schwer sie oft zu beseitigen sind. Ihre Untersuchung ist experimentell und theoretisch nicht einfach. Die einzelnen Teile der Maschine geben verschiedene Schwingungen, die sich erstens gegenseitig beeinflussen — man spricht dann von gekoppelten Schwingungen — und die zweitens neue Schwingungen, sog. Kombinationsschwingungen bilden, unter denen die Differenzschwingung die vorherrschende ist. Akustisch gesprochen besagt das: Zwei Töne, die gleichzeitig erklingen, erzeugen einen dritten Ton, ihren Differenzton, dessen Schwingungszahl gleich der Differenz der Schwingungszahlen der beiden Primärtöne ist. So hört ein aufmerksamer Geigenspieler, wenn er die D- und die A-Saite gleichzeitig anstreicht, neben D und A noch die tiefere Oktave von D, eben den Differenzton. Die Schwierigkeit der theoretischen Behandlung der Maschinenschwingungen liegt in folgendem: Der Theoretiker läßt die wirklichen Körper gern zu Massenpunkten zusammenschrumpfen, um dann verhältnismäßig einfach mit totalen Differentialgleichungen rechnen zu können. Das ist bei einem so komplizierten System, wie es eine Maschine darstellt, nicht mehr möglich; es müssen dann partielle Differentialgleichungen aufgestellt werden, die durch die Berücksichtigung der Kopplung und der Kombinationsschwingungen noch weiter kompliziert werden. Das letztgenannte Phänomen bedingt dabei den Übergang von linearen Differentialgleichungen zu solchen höheren Grades. Die Rechnung wird dementsprechend schwierig und man muß sich mit angenäherten Lösungen der Gleichungen begnügen. Trotzdem sind Schritt für Schritt wichtige Ergebnisse erzielt worden.

Über die Anwendung der hörbaren Schwingungen im Signalwesen und in der Telephonie mit und ohne Draht brauche ich kaum ein Wort zu verlieren. Es hat sich hier im Laufe der letzten Jahre eine ganze neue Disziplin, die Elektroakustik, entwickelt, deren technische Auswirkungen auch dem Laien geläufig sind.

Die Schwingungen oberhalb der Hörgrenze sind noch wenig erforscht. Neuerdings ist es aber gelungen, Quarzplatten durch elektromagnetische Wellen in Schwingungen zu versetzen, die bis weit über eine Million in der Sekunde gehen können. Es beruht dies auf dem sog. inversen Piezoeffekt der Krystalle. Man kann also eine Quarzplatte 100000, eine Million und noch mehr Schwingungen in der Sekunde ausführen lassen. Die Schwingungsamplitude, die Größe der Schwingungen, ist dabei sehr gering; andernfalls wird das Gefüge des Quarzes so stark beansprucht, daß er zerreißt. Trotz der Kleinheit der Amplitude können diese schnellen elastischen Schwingungen überraschend große Wirkungen auslösen. Die von ihnen ausgehenden Wellen üben Kräfte aus, die 100 g-Gewicht und mehr betragen können; Frösche und kleine Fische, die in das Schwingungsfeld gebracht werden, werden getötet und auch sonstige biologische Wirkungen, wie Zerstörung der roten Blutkörperchen, sind beobachtet worden. Für uns ist wichtiger, daß schon nach den bisherigen Versuchen feststeht, daß diese hochfrequenten elastischen Schwingungen berufen sind, in der Radiotechnik und bei der Signalgebung unter Wasser eine bedeutsame Rolle zu spielen.

Den großen Energien, die mit den eben besprochenen hochfrequenten Schwingungen erzeugt werden, stehen im hörbaren Gebiete normalerweise sehr kleine Energien gegenüber. Vor akustischen Kraftwerken dürfte die Menschheit sicher sein. Um auf akustischem Wege eine mechanische Leistung von 1 PS zu erzeugen, würden nach grober Schätzung 100000 oder einige 100000 Posaunenbläser nötig sein. Auch die Ausbeute an Wärmeenergie ist entsprechend dürftig. Wenn ich hier eine halbe Stunde hindurch rede, so könnte mit der dabei vertanenen akustischen Energie 1 ccm Wasser um etwa $^1/_{10}$° C erwärmt werden. Jeder Redner sollte sich über den Erfolg des Redens vom wärmetechnischen Standpunkte aus Rechenschaft geben. Entsprechend der Kleinheit der akustischen Energien sind quantitative Messungen recht schwierig.

Ein großer Teil der akustischen Probleme, die von Bedeutung für die Technik sind, sind hydrodynamischer Natur. Es seien zunächst die Hiebtöne genannt. Sie entstehen beispielsweise, wenn ein Stock durch die Luft geschlagen wird und sind eine Folge hydrodynamischer Wirbel, die sich zu beiden Seiten des Stockes ablösen. Es läßt sich allgemein zeigen, daß beim Strömen einer Flüssigkeit gegen ein geeignet gestaltetes Hindernis sich hinter dem Hindernis Wirbel ablösen, und daß die Wirbelkonstellation nur dann stabil ist, wenn die Wirbel in gleichen Zeitintervallen abwechselnd auf beiden Seiten entstehen. Es bildet sich also in der Flüssigkeit — sei sie praktisch inkompressibel, wie Wasser oder kompressibel wie Luft — eine periodische Störung aus, die unter geeigneten Verhältnissen einen hörbaren Ton gibt. Damit ist die Wirkung der Lippenpfeife erklärt, das Summen der Telegraphendrähte, das Pfeifen mit dem Munde und auf dem Hausschlüssel und ähnliche schönen Künste, die auf den ersten Blick vielleicht unwichtig erscheinen, deren genaues Studium aber lehrreich und von technischer Bedeutung ist. Das wird sofort klar, wenn wir bedenken, daß es sich dabei um genau die gleichen Probleme handelt, wie beim Strömen des Wassers gegen ein fahrendes Schiff oder beim Strömen der Luft gegen die Tragflächen eines Flugzeuges. Der Schiffbauer sowie der Flugzeug- und der Luftschiffkonstrukteur haben also das größte Interesse an diesen akustisch-hydrodynamischen Untersuchungen. Bei dieser Gelegenheit sei noch erwähnt, daß die Akustik mit dem Echolot dem Schiffer und dem Luftschiffer die Möglichkeit gegeben hat, bei voller Fahrt die Tiefe des Wassers bzw. des Luftmeeres zu messen.

Noch ein zweites hydrodynamisches Beispiel wollen wir besprechen. Ein Luftresonator, das ist ein abgeschlossener Luftraum mit einer düsenartigen Öffnung an einer Stelle, werde zum Tönen gebracht; dann strömt aus der Öffnung ein einseitiger Luftstrom aus. Das ist ein zunächst sehr überraschender Effekt. Man kann ihn sich etwa folgendermaßen verständlich machen: Die Mundhöhle ist ein Luftresonator, die Mundöffnung ist die Düse. Der Luftstrom, der beim Ausatmen aus der Mundöffnung austritt, kann ohne Mühe so kräftig gemacht werden, daß er auf etwa 1 m Entfernung eine Kerze auslöscht. Und nun versuche man, die gleiche Kerze auf nur 5 cm Entfernung durch — beliebig kräftiges und schnelles — Einatmen auszulöschen! Sie werden bei diesem Versuch wenig Freude erleben. Denkt man sich jetzt das Ein- und Ausatmen immer schneller werdend, so kommt man schließlich in den Frequenzbereich der Schallschwingungen, und es resultiert ein scheinbar kontinuierlicher, nach außen gerichteter Luftstrom. Auch die Rolle, welche die Form der Düse spielt, kann an der Mundöffnung beobachtet werden. Beim Singen der Vokale A und U ist an der vor die Mundöffnung gehaltenen Hand ein erheblicher Unterschied in der Luftströmung zu spüren. Diese Schalldüsenwirkung steht nun in engster Beziehung zu der Düsenwirkung bei Wasser- und bei Dampfturbinen. Die Düsenwirkung bei der Turbine ist aber ein so wichtiges und dabei in experimenteller und theoretischer Beziehung so schwieriges Kapitel der Technik, daß eine Bearbeitung auch von der akustischen Seite her nur erwünscht sein kann.

Die akustischen Probleme, die ich hier angedeutet habe, sind ohne gründliche physikalische Allgemeinbildung und ohne tiefgehende theoretische Überlegungen nicht zu meistern. Das darf den Ingenieur aber nicht abschrecken; er soll nicht nur Praktiker sein, sondern vor der Praxis steht die Theorie, vor der schöpferischen Tat steht der Gedanke.

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, die *Zuschriften* auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken, bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Über das Vorkommen und den Umsatz von Pyrophosphat im Muskel.

Läßt man Muskelbrei in Gegenwart von Natriumbicarbonat bei 40—45° ein bis zwei Stunden stehen, so nimmt die Menge des nach gewöhnlichen Methoden nachweisbaren anorganischen Phosphats (einschließlich des Phosphagenphosphats) um etwa 0,7—0,9 mg P_2O_5 auf 1 g frische Muskelsubstanz zu (Froschmuskulatur). Eine ähnliche Zunahme findet man auch bei verschiedenen Arten von Muskelstarre. Diese von EMBDEN und seinen Mitarbeitern in zahlreichen Arbeiten untersuchte Reaktion[1] wird von ihm auf den Zerfall von „Lactacidogen" bezogen, eine Hexosephosphorsäure, die gleichzeitig Milchsäure und Phosphorsäure liefern soll. Wie ich finde, ist die hier zerfallende Substanz in ganz überwiegendem Maße (75—90%) nichts anderes als Alkalipyrophosphat, das unter der Einwirkung eines im Muskel enthaltenen Enzyms zu Orthophosphat aufgespalten wird:

$$K_4P_2O_7 \xrightarrow{+\,1\,H_2O} 2\,K_2HPO_4\,.$$

Dieser Zerfall des Pyrophosphats ist von gleichzeitiger Milchsäurebildung unabhängig und verläuft auch im kohlenhydratfreien Muskelextrakt, ohne daß Milchsäure dabei auftritt. In frischen Muskeln (Frosch, Kaninchen) ist Alkalipyrophosphat in einer Menge von etwa 0,6—0,7 mg P_2O_5 vorhanden und wird unter den genannten Umständen vollständig zu Orthophosphat hydrolysiert. Diese Menge entspricht etwa $^1/_5$ des gesamten säurelöslichen Phosphats des Muskels.

Das Pyrophosphat wurde aus dem Trichloressigsäureextrakt von Muskeln über das Kupfersalz abgeschieden und als krystallisiertes Natriumsalz und als Diaquotetramminokobaltipyrophosphat identifiziert.

Ebenso wie das im Muskel präformierte und aus der Skelettmuskulatur von Fröschen und Kaninchen isolierte Pyrophosphat wird auch das durch Entwässern von Alkalibiphosphaten dargestellte Pyrophosphat enzymatisch gespalten. Tötet man Muskelbrei durch 1 Minute langes Erhitzen im Wasserbad, so vermag er Pyrophosphat nicht mehr in zwei Moleküle Phosphat zu zerlegen.

Die Muskulatur enthält, wie EMBDEN zeigte, eine Hexosemonophosphorsäure, die von ihm als „Lactacidogen" bezeichnet und mit der bei der Bicarbonatautolyse zerfallenden für identisch gehalten wurde. Die vorgebildeten Phosphorverbindungen werden jedoch weder bei der Bicarbonatautolyse noch bei den verschiedenen Starreformen in stärkerem Maße angegriffen. Während in einigen Fällen ein geringfügiger Zerfall derselben ein wenig zur Bildung von Orthophosphat beiträgt, wird sogar bei anderen Starreformen etwas neuer Ester gebildet, während das Pyrophosphat total zerfällt. Dagegen wird zum Muskelbrei *zugesetzter* EMBDENscher Hexosemonophosphorsäureester total aufgespalten.

Die frische Muskulatur scheint keine Hexosediphosphorsäure zu enthalten. Diese bildet sich jedoch bei dem Umsatz von Kohlenhydrat in enzymhaltigem Muskelextrakt und unter gewissen Umständen auch beim Stehen von Gewebsbrei und kann nachträglich in Milchsäure und Phosphat aufgespalten werden. Diese bereits von O. MEYERHOF untersuchten Reaktionen[1] sind völlig analog der Bildung und Aufspaltung der Hexosediphosphorsäure im Hefeextrakt und in beiden Fällen auf eine in der lebenden Zelle nicht vorkommende Anhäufung der Stabilisierungsform des intermediären Hexoseesters zu beziehen. Diese Reaktionen haben aber nichts mit der beschriebenen Aufspaltung des Pyrophosphats in Orthophosphat zu tun.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie, Abteilung MEYERHOF, den 15. März 1928. K. LOHMANN.

[1] Zusammenfassung G. EMBDEN, Handb. d. Norm. u. Pathol. Physiol. VIII/1, S. 371. 1925.

[1] O. MEYERHOF, Biochem. Zeitschr. 178, 462. 1926.

Zur Begrenzung des Systems der Elemente.

Zu der noch unverstandenen Tatsache, daß Elemente mit Ordnungszahlen über 92 nicht bekannt sind, besteht an Erklärungsversuchen neben der nach der Entdeckung der Radioaktivität viel besprochenen Annahme, daß die schwereren Kerne schon „verstorben" seien, die Bemerkung, daß noch höhere Kernladung zu einem Hereinstürzen der K-Elektronen auf SOMMERFELDschen Spiralbahnen führen müßten[2]. In dieselbe Größenordnung führt nun die auch elementar ohne weiteres verständlich zu machende Bemerkung, daß bei Abständen, die innerhalb der nächsten Zehnerpotenz unter dem Durchmesser BOHRscher Uran-K-Bahnen liegen, die magnetische Anziehung zweier Elektronen — die mit r^{-4} geht — ihre elektrostatische Abstoßung — mit r^{-2} — überwiegen muß. Man hat elementar für zwei antiparallel stehende Dipole vom Moment M die Anziehung:

$$K_m = 3\,M^2 \cdot r^{-4}$$

für zwei Elementarladungen e die Abstoßung:

$$K_e = e^2 \cdot r^{-2}\,,$$

also Verschwinden: $3\,M^2 r^{-2} - e^2 = 0$

für: $$r = \sqrt{3} \cdot \frac{M}{e}\,.$$

Der Durchmesser einer Uran-K-Kreisbahn ist $11 \cdot 10^{-11}$ cm, die erwähnte kritische Entfernung wird mit dem Quantenmoment $M = 9{,}21 \cdot 10^{-21}$ CGS und $e = 4{,}77 \cdot 10^{-10}$ CGS zu $3{,}36 \cdot 10^{-11}$ cm. Es kann also daran gedacht werden, daß das Abbrechen des periodischen Systems darin seine Ursache hat, daß bei noch höheren Kernladungen die innersten Elektronen zusammenstürzen, in den Kern aufgenommen werden, in dessen Dimensionen (unterhalb 10^{-11} cm) überhaupt die magnetische Wechselwirkung eine überwiegende Rolle spielen mag, und so die Kernladung herabsetzen. Noch früher liegt die Grenze, wenn für den Kern selbst ein resultierendes Moment angenommen wird, wie es aus spektralen Gründen gelegentlich schon für etwas niedrigere Ordnungszahlen diskutiert worden ist.

Der Zusammenhang mit der von der alten Überlegung mit relativistischen Spiralbahnen geforderten Grenze der Ordnungszahlen:

$$Z_{y,\,\mathrm{rel.}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{hc}{\pi e^2}$$

[2] N. BOHR, Ann. d. Physik, Kayserheft, 1923; ROSSELAND, Nature, März 1923; A. SOMMERFELD, Atombau und Spektrallinien, 4. Aufl., 6. Kap., § 7.

ist leicht zu sehen, wenn man oben M mittels der einfachen Quantenvorschrift ausdrückt, r als $f(Z)$ schreibt und Z als Unbekannte heraussetzt:

$$Z_{g,\ \mathrm{magn.}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{hc}{\pi e^2}$$

für einander diametral auf einer Kreisbahn gegenübergestellte Elektronen. Natürlich bedarf eine numerische Nachprüfung strenger Behandlung, auch innerhalb des alten Bahnenbildes. Man sieht aber schon qualitativ, daß die maximale Ordnungszahl, die nach der älteren Überlegung allein zu groß wird (137), durch eine Überlagerung beider Wirkungen herabgesetzt wird. Die Bedenken gegen solche Annahme können wir hier ebensowenig berühren wie die ohne weiteres einzusetzende Modifikation, die eintritt, wenn man ein resultierendes Kernmoment annimmt — nur ein vollständiger Ansatz erlaubt, das zu diskutieren. Diese Bemerkung soll vor allem darauf hinweisen, wie man mittels einer elementaren Überlegung den interessanten Gedanken, das Abbrechen des periodischen Systems rühre von Verhältnissen in der negativen Wolke her, deutlich machen kann. Die Überlegung hat den Vorteil, überhaupt keine neue Annahme einzuführen, sondern nur Eigenschaften, die man dem Elektron aus anderen Rücksichten zuschreibt, in Dimensionen zu verfolgen, innerhalb deren man nach anderen Erfahrungen erwarten darf, noch ernsthaft mit ihnen rechnen zu können. Wie bei der Verwendung von SOMMERFELDS Spiralbahnen bricht auch nach diesem Gedanken das System deswegen ab, weil die *Umgebung* des Kerns, das Elektronengebäude, bei allzu hohen Kernladungen instabil wird. Es bleibt dann ein bemerkenswertes, zunächst aber äußerlich erscheinendes Zusammentreffen, daß die schwersten Kerne, für die noch stabile Elektronengebäude möglich sind, selbst Instabilität, den langsamen radioaktiven Zerfall, zeigen.

Kiel, den 17. März 1928. W. KOSSEL.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Untergang und Wiedererstehen antiker Kulturdenkmäler. Nach den Erfahrungen der Altertumsforschung spielen unter den verschiedenartigen Anlässen, die ganze Länder, Städte, berühmte Heiligtümer und Paläste in Schutt und Trümmer gelegt haben, die Erdbeben eine ganz besondere Rolle. Ein deutscher Gelehrter hat berechnet, daß in Kleinasien seit Christi Geburt nicht weniger als 10 000 Erdbeben erfolgt sind, darunter viele von katastrophalem Charakter. Im Neapeler Museum liest man eine Dankinschrift von 14 kleinasiatischen Städten an Kaiser Tiberius, der ihnen nach einem großen Erdbeben Hilfe geleistet hatte. Die Tempel von Olympia, die berühmten Orakel von Delphi und Didyma sind durch Erdstöße niedergeworfen worden, ebenso zahllose Hallen und Marktbauten, Festungsmauern und Theater. Polybios erzählt, daß der König Ptolemaios Philopator 100 Architekten und Bildhauer nach Rhodos schickte, um den Einwohnern bei der Wiederherstellung der Stadt nach einem Erdbeben zu helfen. Reihenweise hat WIEGAND bei Ausgrabungen in Milet die Säulen und Gebälkstücke der großen Thermen der Kaiserin Faustina dahingestreckt gesehen, und denselben Anblick gewähren riesenhafte Hallenstraßen zu Palmyra, wo man an der Fallage noch genau die Richtung der Erdbebenwelle feststellen kann. Im Jahre 550 n. Chr. ging Beyrut mit der berühmten Rechtsschule der antiken Welt durch Erdbeben zugrunde. Es ist kaum zu zählen, wie oft die Kuppel der Sophienkirche zu Konstantinopel infolge von Erderschütterungen beschädigt worden ist. 412 stürzte die konstantinische Stadtmauer ein, 732 fiel die Statue der Kaiserin Eudoxia von ihrer Höhe, 1371 fiel schließlich auch das Reiterstandbild des Kaisers Justinian von der Säule vor der Sophienkirche zur Erde. Wiederholt erscheinen Nachrichten, daß ganze Städte infolge von Erdbeben vom Meere verschlungen worden sind. Hier also ist einer der gründlichsten Anlässe zum Untergang antiker Gemeinwesen, wenn diese verarmten und nicht mehr die Kraft hatten, niedergeworfene Stadtteile durch erneute Bautätigkeit in großem Stil zu beleben. Von anderen Zufallskatastrophen braucht man nur an den Brand des Artemistempels zu Ephesos, an den Brand Roms unter Nero, an die Einäscherung der wunderbaren Bibliothek zu Alexandria und des Kaiserpalastes zu Konstantinopel zu erinnern, in dem viele antike Kunstwerke, angeblich auch der olympische Zeus des Phidias von den Flammen verzehrt worden sein sollen. Die Zerstörungen durch die Tätigkeit des Vesuv sind durch das Beispiel von Pompei und Herculaneum so bekannt geworden, daß man darauf nicht einzugehen braucht. Weniger bekannt ist, daß auch der Ätna eine blühende antike Stadt, Katane, im Jahre 122 v. Chr. völlig vernichtete; die großen Lavamassen, die sich bis ins Meer ergossen, werden heute von der Eisenbahn durchquert. — Weniger bekannt ist ferner die unheilvolle Wirkung der Blitzschläge, besonders an Bildsäulen wie der römischen Wölfin, der Arkadius- und Konstantinssäule zu Konstantinopel, deren aufrechtstehender roter Porphyrschaft heute noch den Namen der „verbrannten Säule“ trägt.

Eine besondere Feindin aufrechtstehender Mauern und Säulen ist die sog. Unterwitterung. Am Fuße einer solchen Säule sammeln sich Bodensalze, dringen in die Substanz der Säule ein, schwächen diese durch Abbröckelung zersetzter Teile und vermindern schließlich den Umfang des Säulenfußes derartig, daß die Säule zusammenbricht und alles mit sich reißt, was über ihr noch aufgebaut liegt. Solchen Gefahren unterliegen besonders die Ruinenstätten in der Wüste, wie Palmyra, Petra, Gerasa, Karnak u. a.

In anderen Fällen sind es verwahrloste Flußläufe, die dem Ruinenbestand gefährlich werden, andererseits aber wieder mit ihrem Geröll schützend wirken können. So verdankt Olympia einen großen Teil seiner Erhaltung der 3 Meter hohen Alluvialschicht, die der nahe Alpheios ausgebreitet hatte und die erst durch die deutschen Ausgrabungen entfernt wurde. Je größer der Verfall der Landwirtschaft in einem Flußtale ist, desto größer ist die Abspülung der Abhänge und die Anschwemmung im Tal, der dann häufig Sumpfbildungen folgen, wie bei Ravenna und Milet, beides einst seebeherrschende Städte, die heute tief im Lande, in ungesunder Gegend liegen.

Ganz besonders merkwürdig ist der Fall, der zum Untergang der Hauptstadt des afrikanischen Tripolitaniens, Leptis magna, geführt hat. Die Stadt und ihr großer Hafen sind heute von ungeheuren Sanddünen überflutet, die teils der Nordwind vom Meere her, teils der Südwind aus dem Innern des Landes angeweht hat. Es gelang der italienischen Altertumsverwaltung, trotz dieser erdrückenden Massen einen großen Teil der Stadt durch Ausgrabungen wieder zurückzugewinnen. Man wandert wieder durch die großen Thermen, durch die 100 m lange Basilika des Septimius Severus, durch den Hippodrom und fragt sich nur, wer auf die Dauer Sieger bleiben wird, die alljährlich wiederkehrende Gewalt der Sand- und

Staubwinde oder die Energie der Kolonialverwaltung, die keinen Augenblick aussetzen darf, wenn nicht wieder die Verschüttung einsetzen soll. Alle Dünen rings um Leptis magna werden künstlich mit Hartgras bepflanzt, um die Sandmassen am Wandern zu verhindern. Man kann in dieser Hinsicht nur mit Bewunderung von der archäologischen Energie Italiens sprechen, das den Spiegel des Nemisees senkt, um die kaiserlichen Prachtschiffe wiederzugewinnen und das mit den neuesten elektrischen Maschinen dieLavamassen von Herculaneum ausbohrt. (WIEGAND, Auszug aus den Sitz.-Ber. d. Pr. Akad. d. Wiss. 26. Jan. 1928).

United States Coast and Geodetic Survey for the fiscal year ended Juni 30, 1927, Annual Report of the Director. (Washington 1927.) Der Bericht ist von COLONEL E. LESTER JONES abgefaßt und enthält 47 Seiten Text und Tabellen und 15 Tafeln und Karten. Die Vermessungsbehörde der Vereinigten Staaten gliedert sich in folgende Abteilungen: Verwaltung (DIECK), Instrumente (PARKHURST), Geodäsie (Major BOWIE), Terrestrischer Magnetismus und Seismologie (HECK), Hydrographie und Topographie (PARKER), Gezeiten und Meeresströmungen (RUDE), Karten (PATTON), Bureau (GRIFFIN). Die Abteilungen spalten sich dann noch in verschiedene Sektionen. Die Zahl der Beamten betrug im Berichtsjahr 135, sie soll auf 141 und 10 Bureaubeamte erhöht werden. Die Zahl der dauernd oder zeitweilig Angestellten für den Bureau- und Felddienst war, zu nahe gleichen Teilen, insgesamt 404, wobei aber manche Hilfskräfte, wie Heliotropisten, Schiffsleute, Träger usw. nicht mitgerechnet sind.

Der Jahresetat belief sich auf 2336670 Dollar (rund 9 Mill. Mark). Aus dem Verkauf von Karten und nautischen Veröffentlichungen wurden rund 59000 Dollar (240000 Mark) als Einnahmen gebucht, wozu noch 9000 Dollar aus Verkäufen und Zinsen traten. Das Gebiet, auf das sich die Tätigkeit der Survey erstreckte, umfaßt die Vereinigten Staaten einschließlich Texas und Alaska, die Philippinen, die Hawaiischen Inseln, die Umgebung des Panamakanals, Porto Rico und die Virginischen Inseln.

Die geodätische Abteilung hat eine Kontrolle der Triangulation 1. Ordnung im Westen der Vereinigten Staaten mit Einschluß des 98. Meridians und mit Anschluß an die Punkte mit definitiven geographischen Positionen vorgenommen. Die Schlußfehler in 42 Polygonen dieser Vermessung waren sehr klein. Sodann hat sich die Abteilung mit einer Untersuchung des Nivellements 1. Ordnung und der Wasserstandsbeobachtungen beschäftigt. Hierbei zeigte sich eine Zunahme des Mittelwasserstandes längs beider Küsten mit dem Fortschreiten nach Norden und zugleich, daß der Atlantische Ozean im Mittel einen Fuß höher ist als der Stille Ozean in derselben Breite. Eine bemerkenswerte Neuerung ist die Konstruktion eines 75 Fuß hohen eisernen Beobachtungsturmes, der auch niedriger gemacht und leicht von einer Station zur andern befördert werden kann. Man erhofft von ihm eine Vereinfachung und Verbilligung der Triangulation I. Ordnung um 25%. Im Verfolg des Planes der internationalen geodätischen und geophysikalischen Union, ein einheitliches Längennetz für die ganze Welt zu verwirklichen, wurden Honolulu und Manila an dieses angeschlossen. An beiden Orten wurden neue astronomische Stationen angelegt und mit den alten verbunden. Schwerkraftsbestimmungen wurden in Hawaii auf den Gipfeln der Krater Kilauea und Mauna Loa und der Küstenstation Hilo ausgeführt. Die internationale Breitenstation Ukiah hat auch in diesem Jahr die Beobachtungen der Polschwankungen fortgesetzt. Der Beobachter untersuchte noch den Einfluß eines Schwankens des Beobachtungspfeilers auf die Beobachtung der Polhöhe. Die Berechnungen umfaßten außer den Triangulationen 5 Grundlinien, 8 Nivellementslinien, 29 astronomische Azimute (im Westen und in Alaska) und 2 astronomische Längen (im Westen). Sodann wurden topographische und isostatische Reduktionen für 1 Station in den Vereinigten Staaten, für 4 auf den Hawaiischen Inseln und für 90 Stationen von Dr. VENING-MEINESZ berechnet. Eine Untersuchung betraf die Depression des Geoids in dem tiefen Teile des Atlantik östlich von Charleston. Ferner wurden mittlere isostatische Anomalien für eine Anzahl gleicher Flächenteile der Vereinigten Staaten gerechnet. Andere Untersuchungen betrafen das Erdinnere, die Breitenvariation und das Kalifornische Erdbeben. Von den Veröffentlichungen seien noch Tafeln für ALBERS' Projektion erwähnt, die für Geographen nützlich sein können.

Die Abteilung für Magnetismus und Seismologie unterhält fünf ständige magnetische Observatorien, ein neues bei San Juan, P. R., die andern in Cheltenham, Md., Tucson, Ariz., Sitka, Alaska und Honolulu. Letztere Station mußte verlegt werden, da sie schwer zugänglich war und Wasser fehlte. Von dem Observatorium in Sitka ist eine Erforschung der Beziehungen zwischen Nordlichtern und magnetischen Gewittern einerseits und der Übertragung im Radio und in Kabeln andrerseits eingeleitet worden. Außerdem finden die magnetischen Beobachtungen in erster Linie bei den Seefahrern, dann bei der Aufsuchung von Öl- und Minerallagern durch magnetische Methoden Verwendung.

Die Abteilung für Hydrographie und Topographie hat sehr darunter gelitten, daß eins der Schiffe im Atlantischen Ozean außer Dienst gesetzt werden mußte, da von den drei übrigen Schiffen zwei nicht im offenen Meere verwendet werden konnten. Im Stillen Ozean taten 2 Schiffe Dienst, in Alaska ebenfalls 2, eines bei den Hawaiischen Inseln und 3 in den Philippinen. An der Golfküste wurden Aufnahmen der Küsten von Florida durch die Armeeflieger von einem Schiffe unterstützt. Die beiden im Stillen Ozean stationierten Schiffe sind mit ausgezeichneten Echolot-Apparaten ausgerüstet, die bis zu 15000 Fuß (4500 m) und mehr, die Tiefe selbst bei voller Fahrt zu messen gestatten. Ein solcher Apparat ist auch für die Schiffsführer von großem Wert, da er beim Vergleich mit Seekarten eine Bestimmung des Schiffsortes ermöglichen kann. Von noch größerer Bedeutung für diesen Zweck sind aber Apparate zur Radiopeilung, von denen drei der hydrographischen Abteilung zur Verfügung standen.

Die Abteilung für Gezeiten und Meeresströmungen hat, wie seit 1923, auch für 1927 Tafeln herausgegeben, die auf den Beobachtungen von 22 Haupt- und 1000 Hilfsstationen beruhen. Auf den Hauptstationen sind noch Temperatur- und Dichtemessungen ausgeführt worden.

Während im Weltkriege die Lage der Kabel nicht bekanntgegeben werden durfte, wird sie jetzt wieder, mit einigen Einschränkungen, von der Kartenabteilung veröffentlicht, weil insbesondere bei Kabelstörungen die Aufsuchung der Schäden durch die Karten erleichtert werden soll. Ferner sind auf den Karten die Stellen der schiffbaren Gewässer kenntlich gemacht, wo Fischereianlagen gestattet sind. Sodann ist eine besondere Aufgabe für die Abteilung aus der Luftschiffahrt erwachsen, indem für diese besondere Karten notwendig sind, über deren zweckmäßige Gestaltung Beratungen stattgefunden haben. A. GALLE.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9 — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.

*Hierzu eine Beilage vom Verlag **Julius Springer in Berlin W 9***

Verlag von Julius Springer, Berlin W 9 / Verantwortl. f. d. Anzeigenteil R. Sperling, Berlin-Schöneberg / Druck der Spamerschen Buchdruckerei